

Minderung der Formaldehydbelastung im anatomischen Praktikum am Beispiel Humanmedizin der Universität Gießen durch Präparation mit Infutrace™ und strömungstechnischer Optimierung der Lüftungsanlage im Bereich der Atemluftversorgung von Studenten und Lehrenden am Präparationstisch

Schwerpunkt sind die immissionsmindernden Faktoren.

Inauguraldissertation
zur Erlangung des Grades eines Doktors der Humanbiologie
des Fachbereichs Medizin
der Justus-Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von Hieke, Hans
aus Gießen

Gießen 2018

Aus dem Institut für Anatomie und Zellbiologie der
Justus-Liebig-Universität Gießen
Geschäftsführender Direktor Prof. Dr. Middendorff

Gutachter: Frau Prof. Dr. Wimmer

Gutachter: Herr Prof. Dr. Sohrabi

Tag der Disputation: 20.08.2018

Vorwort

Schon in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts definierte Alexander von Humboldt den Begriff Klima wie folgt:

„ ... alle Veränderungen der Atmosphäre, die unsere Organe merklich affizieren: die Temperatur, die Feuchtigkeit, die Veränderung des barometrischen Druckes, den ruhigen Luftzustand oder die Wirkung ungleichnamiger Winde, die Größe der elektrischen Spannung, die Reinheit der Atmosphäre oder Ihre Vermengung mit mehr oder minder schädlichen gasförmigen Exhalationen, endlich den Grad habitueller Durchsichtigkeit und Heiterkeit des Himmels: welcher nicht bloß wichtig ist für die vermehrte Wärmeeinstrahlung des Bodens, die organische Entwicklung der Gewächse und die Reifung der Früchte, sondern auch für die Gefühle und ganze Seelenstimmung des Menschen.“

(Humboldt 1845, S. 340)

Hic locus est, ubi mors gaudet succurrere vitae.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	IV
1 Einleitung	1
1.1 Relevanz	1
1.2 Formaldehyd in der Anatomie.....	1
1.2.1 Aufgaben von Formaldehyd in der Anatomie	2
1.3 Allgemeines, chemisch physikalische Eigenschaften	2
1.4 Problem neue Einstufung der EU	3
1.4.1 Ersatzstoffe und deren Schwierigkeiten	4
1.4.2 Problembeschreibung Formaldehyd in der Atemluft.....	5
Ziel der Arbeit	5
1.5 Raumströmungen	5
1.5.1 Konvektive Strömungen.....	5
1.5.2 Formen der Zuluftströmung	6
1.5.3 Formen der Abluftströmung	7
1.5.4 Luftlenkung	8
1.6 Betrachtung der Luftsituation im Präparationssaal der Justus-Liebig-Universität Gießen	9
1.6.1 Außenluftdurchlass bis Zuluftdurchlass	9
1.6.2 Welche Luft atmet der Student / Lehrende am Präparationstisch ?	11
1.6.3 Absaugung.....	13
1.6.4 Frischlufteinbringung	14
1.7 Darstellung des Wertes Stoffindex mit Bezug zu TRGS 402	14
2 Material und Methoden: Ausarbeitung und Prüfung von Verbesserungsvorschlägen.....	18
2.1 Lüftung des Präpariersaals über Zu- und Abluft	18
2.2 Luftlenkung mittels einer Düse.....	19
2.3 Axialventilator parallel zum Tisch.....	22
2.4 Aufbau einer Verdrängungsströmung	23
2.5 Zuluftlenkung mittels dreier Düsenblaseinrichtung	26
2.6 Hilfsmittel zur Messung und Darstellung.....	28
2.7 Präparate zur Messung vom 08.12.2016 im Präparationssaal Ost, alle Tische mit Düsenblasanlage sowie zusätzlich mit Einsatz von Infutrace™	29
2.8 Präparate zur Messung vom 16.02.2017 im Präparationssaal Ost, alle Tische mit Düsenblasanlage sowie zusätzlich mit weiter optimiertem Einsatz von Infutrace31	

2.9	Präparate zur Messung vom 27.04.2017 im Präparationssaal Ost, alle Tische mit Düsenblasanlage, optimierter Einsatz von Infutrace, hier Messung von ungünstigen / erschwerten Bedingungen	34
3	Ergebnisse der Prüfung von Verbesserungsvorschlägen	37
3.1	Lüftung des Präpariersaals über Zu- und Abluft	37
3.2	Luftlenkung mittels einer Düse.....	39
3.3	Axialventilator parallel zum Tisch.....	41
3.4	Aufbau einer Verdrängungsströmung	42
3.5	Zuluftlenkung mittels Düsenblaseinrichtung	44
3.6	Messtechnische Bewertung in Bezug auf Formaldehyd in der Atemluft.....	50
3.6.1	Messtechnische Bewertung der einzelnen Systeme am 31.08.2016	50
3.7	Weitere Messungen im Präparationssaal Ost, alle Tische mit Düsenblasanlage sowie zusätzlich mit Einsatz von Infutrace™ 08.12.2016	56
3.7.1	Messergebnisse vom 08.12.2016 mit Bezug zum Arbeitsplatzgrenzwert:	58
3.7.2	Betrachtung der Messung 08.12.2016 mit Bezug zum 25 %igen Stoffindex	62
3.8	Weitere Messungen im Präparationssaal Ost, alle Tische mit Düsenblasanlage sowie zusätzlich mit weiter optimiertem Einsatz von Infutrace 16.02.2017.....	64
3.8.1	Messergebnisse mit Bezug zum Arbeitsplatzgrenzwert	65
3.8.2	Betrachtung der Messung 16.02.2017 mit Bezug zum Stoffindex.....	69
3.9	Weitere Messungen im Präparationssaal Ost, alle Tische mit Düsenblasanlage, optimierter Einsatz von Infutrace, hier Messung von ungünstigen / erschwerten Bedingungen	72
3.9.1	Messergebnisse der Messung vom 27.04.2017 mit Bezug zum Arbeitsplatzgrenzwert.....	73
3.9.2	Messergebnisse der Messung vom 27.04.2017 mit Bezug zum Stoffindex	79
4	Diskussion und Ausblick	83
4.1	Betrachtung des für die Präparationssäle optimierten Systems	83
4.2	Betrachtung von technischen Alternativen am Markt.....	86
4.2.1	Ohne zusätzlich optimierte Lüftung	86
4.2.2	Absaugsystem mit Filtern	86
4.2.3	Spezielle Tischabsaugungen.....	88
4.2.4	Fachgespräch Formaldehyd vom 10.2016, hier Gesamtsystem	89
4.3	Ausblick.....	90
5	Zusammenfassung und Anhang	93

5.1	Zusammenfassung	93
5.2	Summary.....	95
5.3	Anhang.....	96
5.3.1	Abbildungsverzeichnis	96
5.3.2	Tabellenverzeichnis	98
5.3.3	Abkürzungsverzeichnis	99
5.4	Grundrisszeichnung Präpariersaal West	100
5.4.1	Vorgabe optimierte Infutracebehandlung zu den Messungen 3.7 bis 3.9...	101
5.4.2	Einregulierung und Messung der Düsenblasanlage in Präpariersaal West und Ost	102
5.5	Einstufung und Gefahrenhinweise Formaldehyd	130
5.6	Veröffentlichungen:	133
5.7	Danksagungen.....	134
6	Literaturverzeichnis	135
	Eidesstattliche Erklärung.....	139

1 Einleitung

1.1 Relevanz

Formaldehyd wird in vielen Produkten und Prozessen des täglichen Lebens verwendet. Diese sind unter anderem Bauprodukte und Leime wie sie in Holzplatten, Bodenbeläge für die Bau- und Möbelindustrie Verwendung finden. Mit Harnstoff, Melamin, oder Phenol werden aus Formaldehyd Kunststoffe hergestellt. Bei Einsatz von Phenol kann daraus Phenolharz zum Beispiel der Duroplast Bakelit hergestellt werden.

Weiterhin ist Formaldehyd bei der Herstellung vieler Produkte beteiligt. Beispielhaft können hier genannt werden: Süßstoffe, Bindemittel, Klebstoffe, Textilhilfsmittel, Düngemittel, Konservierungsmittel, Formsandbinder, Ionenaustauscher, Gießharze, Gerbstoffe, Härtezusätze, Vulkanisationszusatz, Füllungsmittel, Medikamente, Fungizide, Sprengstoffe, Bauschäume und Selbstbräuner.

Auch in Kosmetika kann Formaldehyd als Konservierungsmittel vertreten sein.

Da die Inhaltsstoffe von Reinigungsmitteln im Bereich der Haushalts- und Gebäudereinigung eine Quelle für Bakterien bilden können, kommt Formaldehyd auch hier als Konservierungsmittel zum Einsatz.

Im Bereich Bio- oder Gentechniklaboren findet es als Fluid oder verdampfender Stoff Anwendung bei Reinigungs- und Desinfektionsmaßnahmen. Hier sei als Beispiel die Hygienisierung von Klasse II Werkbankfiltern in S3 Labors vor dem Filtertausch oder die Raumdesinfektion nach TRGS 522 und TRGS 513 für automatische Prozesse, wie sie in Sterilisationseinrichtungen Verwendung finden, genannt. Vgl. (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin 2013), (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin 2011)

Formaldehyd ist auch heute noch ein weit verbreiteter Arbeitsstoff im Gesundheitsdienst, auf dessen Einsatz man in der Desinfektion, Sterilisation und der Konservierung wegen seiner hervorragenden Eigenschaften vielfach nicht verzichten möchte (Eickmann 2016).

Im Rahmen des Medizinstudiums werden im Rahmen der anatomischen Ausbildung nicht nur theoretische Kenntnisse, sondern auch praktisch vermittelt in Präparierkursen, in denen an Körperspendern durch Präparation oberflächliche und tiefe anatomische Strukturen dargestellt/präpariert werden. Hierfür ist es notwendig, die Körper zu konservieren, die Gewebe zu fixieren und zu hygienisieren.

1.2 Formaldehyd in der Anatomie

Formaldehyd wird im Bereich der Humananatomie, -pathologie aber auch im Bereich der Veterinäranatomie und -pathologie eingesetzt.

1.2.1 Aufgaben von Formaldehyd in der Anatomie

Die für die Präparierkurse eingesetzten Körper stammen von Spendern, die sich zu Lebzeiten freiwillig der Anatomie im Rahmen einer letztwilligen Verfügung vermacht haben. Voraussetzung ist, dass diese Spender an keiner ansteckenden Krankheit leiden. Die Körper werden über einen Zeitraum von 1 Jahr oder länger für den Unterricht eingesetzt, weshalb die Körper entsprechend haltbar gemacht werden müssen. Und um ein Restrisiko einer Ansteckung auszuschließen, müssen die Körper mit einer bakterioziden Substanz behandelt werden.

Entsprechend werden die Körper mittels Perfusion innerlich als auch äußerlich mit Fixierungs- und Desinfektionsflüssigkeiten behandelt, damit der Körper nicht verwest. Hierbei wird eine Mindestfixierdauer von etwa 6 bis 12 Monaten angestrebt. Nach dieser Zeit wird davon ausgegangen, dass eine Ansteckungsgefahr nicht mehr gegeben ist. (Pera und Filler 2012).

Formaldehyd wird mittels Perfusion in den frischen Spenderkörper eingebracht. Ebenfalls findet ein äußerlicher Auftrag der Mittel durch Einlagerung in der Präparierflüssigkeit mittels Lagerung in Küvetten oder Foliensäcken statt.

Hierfür wird als eines der wichtigsten Präpariermittel Formaldehyd in wässriger Lösung (Formalin) verwendet.

Um die beiden Ziele

- Hygienisierung des Spenderkörpers sowie
- Fixierung der biologischen Probe zu erreichen,

kommen meist Konzentrationen im Bereich zwischen 1,8% und 4% zur Anwendung.

Vor der Einstufung von Formaldehyd als karzinogen 1b war eine Anwendung von Formaldehyd auch bei der späteren Lagerung üblich. Hierauf wird heute weitestgehend verzichtet.

1.3 Allgemeines, chemisch physikalische Eigenschaften

Formaldehyd ist ein in der Natur vorkommender Stoff. Als Entdecker dieses Stoffs wird Alexander Michailowitsch Butlerow (1855) genannt. Als Erfinder der synthetisierten Herstellung wird in der Literatur der Chemiker Hoffmann (1868) (Pera und Filler 2012, S. 8) genannt. Der Bedarf und damit die Produktion von Formaldehyd stieg durch die Entwicklung von Kunststoffen in Form von Harnstoffharzen und Phenolharzen ab Beginn des 20. Jahrhunderts stark an.

Formaldehyd ist die allgemeine Bezeichnung für Methanal

Weitere Bezeichnungen: Methylaldehyd, Oxomethan, Formylhydrat, Ameisensäurealdehyd, Ameisenaldehyd, Formol und Formalin (in wässriger Lösung)

CAS-Nummer: 50-00-0

Index-Nummer: 605-001-00-5

EG Nr.: 200-001-8

ZVG Nr.: 10520

Die Summenformel lautet: H_2CO

Molare Masse: 30,03 g/mol

Schmelzpunkt: -117°C

Siedetemperatur: Siedepunkt- 19°C (bei 1013 hPa)

Wasserlöslichkeit: gut

Umrechnungsfaktoren (293,15K; 1013 hPa): $1\text{ppm} = 1,25\text{ mg/m}^3$

$1\text{ mg/m}^3 = 0,80\text{ ppm}$

Die relative Gasdichte, das Dichteverhältnis zu trockener Luft bei gleicher Temperatur und gleichem Druck = 1,037.

Formaldehyd ist ein entzündliches, farbloses, intensiv riechendes Gas.

Die wässrige Lösung des Gases wird auch als Formalin bezeichnet.

(Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) (2018))

Formaldehyd steht bereits seit langem im Verdacht gesundheitsschädlich zu sein. Bereits 1984 wurde deshalb zur Reduktion der Formaldehydbelastung am Arbeitsplatz eine maximale Arbeitsplatzkonzentration von 1.2 mg/m^3 entsprechend einem ppm genannt. (Deutscher Bundestag 1984)

Die Gefährlichkeit eines Stoffes oder seiner Verarbeitung wird durch Gefahrenkennzeichen sowie Risiko- Sicherheitssätze angegeben.

Bei zusätzlichem Gefährdungspotential gilt nach Gefahrstoffverordnung eine ‚KMR‘- Einstufung (karzinogen, mutagen, reproduktionstoxisch)

Weitere Hinweise zu Einstufung und Gefahrenhinweisen von Formaldehyd sind im Anhang 5.5 aufgeführt.

1.4 Problem neue Einstufung der EU

In der EU werden Stoffe entsprechend der Gefahrenkategorie der CLP-Verordnung (Verordnung (EG) 1272/2008, Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen) für karzinogene Stoffe eingestuft. In der Ausgabe 1272/2008 vom 16.12.2008 wurde Formaldehyd als krebbsverdächtig kategorisiert.

Hierbei wird zwischen nachfolgenden Kategorien unterschieden:

1A: Stoffe, die bekanntermaßen beim Menschen karzinogen sind. Eine Einstufung erfolgt aus Nachweisen und Erfahrungen beim Menschen.

1B: Stoffe, die wahrscheinlich beim Menschen karzinogen sind. Eine Einstufung erfolgt hier über Tierversuche.

2: Verdacht auf karzinogene Wirkung beim Menschen. Die Einstufung eines Stoffes in Kategorie 2 erfolgt aufgrund von Nachweisen aus Studien an Mensch / und oder Tier, die jedoch nicht hinreichend für eine Einstufung des Stoffes in Kategorie 1A oder 1B sind.

Es wird ein Arbeitsplatzgrenzwert (AGW) für Formaldehyd von 0,3 ml/m³ oder 0,37 mg/m³ festgelegt. Der Überschreitungsfaktor der Spitzenbegrenzung wird mit 2(I) festgelegt.

Diese Einstufung wurde zum 01. Januar 2016 in Kraft gesetzt. Sie ist seitdem in Europa gültig und ist damit auch in Deutschland umzusetzen. (Hebisch et al. 2016)

Zusammenhang: AGW = Arbeitsplatzgrenzwert. Es ist nach GefStoffV (§2, Absatz 8) der Grenzwert für die zeitlich gewichtete durchschnittliche Konzentration eines Stoffs in der Luft am Arbeitsplatz in Bezug auf einen gegebenen Referenzzeitraum. Er gibt an, bis zu welcher Konzentration eines Stoffs akute oder chronische schädliche Auswirkungen auf die Gesundheit von Beschäftigten im Allgemeinen nicht zu erwarten sind (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin 2017b).

Hierbei handelt es sich um rechtlich verbindliche Werte.

1.4.1 Ersatzstoffe und deren Schwierigkeiten

Über die bei Gefährdungsanalysen angewendete S T O P Regel soll hier nur kurz auf den Teil S, wie Substitution sowie später T, wie Technik eingegangen werden.

Die optimale Maßnahme zur Beseitigung der Gefährdung durch Formaldehyd ist die Substitution des Stoffes durch ein geeignetes alternatives, weniger gefährdendes Produkt oder durch ein alternatives, sichereres Verfahren. Leider ist die Substitution von Formaldehyd nicht so einfach:

- In Pathologien stehen zwar verschiedene Ersatzprodukte als Konservierungsmittel zur Verfügung, diese sind aber deutlich teurer als das preiswerte Massenprodukt Formaldehyd und liefern keine vergleichbaren Ergebnisse. Eine allgemeine Akzeptanz der Ersatzprodukte ist bisher nicht gegeben.
- Auch in Anatomien gibt es einzelne Ersatzprodukte, die allerdings ebenfalls bisher keine allgemeine Akzeptanz in der Fachwelt gefunden haben (Eickmann 2016). Speziell für Arbeiten im Bereich der Präparierkurse der Human- und Veterinäranatomie geht die Anatomische Gesellschaft ebenfalls davon aus, dass zurzeit keine vollständige Substitution von Formaldehyd möglich ist. Hier soll eine weitest mögliche Reduktion angestrebt werden, indem bauliche Maßnahmen mit Anpassungen der Protokolle für Fixierung und Lagerungskonservierung sowie organisatorische Maßnahmen kombiniert werden (Paulsen 2015).

Als weitere Schwierigkeit bei der Ersatzsuche ergibt sich für viele Stoffe oder Gemische eine fehlende Listung in der Biozidverordnung.

Biozidprodukte werden gemäß Anhang V der BPV in vier Hauptgruppen unterteilt, die insgesamt 22 Produktarten beinhalten (Bundesverband Großhandel, Außenhandel, Dienstleistungen e.V. (BGA) (2014)). Produkte für die Leichenkonservierung sind in Hauptgruppe 4, sonstige Biozidprodukte und dort unter Produktart 22: Flüssigkeiten für

Einbalsamierung und Taxidermie, Produkte zur Desinfektion und Konservierung von Leichen oder Tierkadavern oder Teilen davon (Umweltbundesamt, Präsidialbereich, Presse- und Öffentlichkeitsarbeit, 2018) genannt.

Ersatzstoffe in Form von Alkoholkonservierungen haben diese BPV Listung nicht. Somit fehlt die Verwendungsfreigabe für den Zweck der Leichenkonservierung.

1.4.2 Problembeschreibung Formaldehyd in der Atemluft

Die in der Stellungnahme der Anatomischen Gesellschaft geforderten Kombinationen aus baulichen, fixierungstechnischen und lüftungstechnischen Maßnahmen müssen somit in der Lage sein, die zum 01. Januar 2016 in Kraft getretenen verbindlichen EU Richtlinien umzusetzen. Bezogen auf die Grenzwerte für Formaldehyd in der Atemluft sind somit Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW) von $0,37 \text{ mg/m}^3$ festgelegt. Der Überschreitungsfaktor der Spitzenbegrenzung liegt hier bei 2(I).

Ziel der Arbeit

Im Rahmen dieser Arbeit sollen Methoden gefunden und bewertet werden, welche in der Lage sind, die Formaldehydbelastung von Präparationssälen in der Atemluft zu senken. Es wird versucht, Arbeitsplatzgrenzwerte und die dafür geltenden Richtlinien zu unterschreiten.

Dies soll anhand der Präparationssäle der Justus-Liebig-Universität Gießen verdeutlicht werden. Wichtig für die Betrachtung ist, die mögliche Umsetzung innerhalb der vorhandenen räumlichen und technischen aber auch finanziellen Möglichkeiten. Auch Nutzeraspekte wie zum Beispiel Funktion, möglichst einfache Nutzung, Behaglichkeit hier die Vermeidung von störender kühler Luftströmung oder Schallbelastungen müssen hierbei berücksichtigt werden.

Bei den Betrachtungen wurden die baulich einfach umzusetzenden Maßnahmen bevorzugt.

Der Schwerpunkt lag hierbei auf dem lüftungstechnischen Teil.

Um die lüftungstechnisch wirkungsvollste Lösung zu erreichen, muss zuerst die Problematik der Luftströmungen und Luftführung analysiert werden.

1.5 Raumströmungen

Im Nachfolgenden soll eine kurze Beschreibung der Luftströmungen in Räumen gegeben werden.

1.5.1 Konvektive Strömungen

Im Bereich der Lüftungstechnik in Räumen können Raumströmungen auch ohne mechanische Ventilatoren und deren Druckunterschiede wirkungsvoll aufgebaut werden.

Wird (Raum-)Luft an kalten Oberflächen abgekühlt, so erhöht sich die Dichte der Luft. Die an der Oberfläche abgekühlte Luft sinkt somit im Raum nach unten.

Der Abtrieb funktioniert so lange, wie die Dichte der absteigenden Luft noch größer ist als die der umgebenden Raumluft.

Wird (Raum-) Luft an warmen Oberflächen erwärmt, vermindert sich die Dichte der Luft. Die an der Oberfläche erwärmte Luft steigt im Raum nach oben. Der Auftrieb funktioniert so lange, wie die Dichte der aufsteigenden Luft noch kleiner ist als die der umgebenden Raumluft (Abbildung 1).

Im Bereich der Haustechnik ist dieses Prinzip bei Heizkörpern allgemein bekannt und aufgrund der großen Temperaturunterschiede Heizkörperoberfläche zu Raumluft deutlich spürbar. In gedämpfter Form ist dies ebenfalls bei Personen, auf Grund ihrer warmen Körperoberfläche in kühlen Räumen, zu beobachten. Dies gilt auch für die Studenten und Lehrenden im Präpariersaal, die für einen gewissen Auftrieb der Luft im Bereich ihres Arbeitsplatzes an dem Körperspender sorgen. Hierdurch gelangt auch das vom Präparat freigesetzte Formalin in den Atembereich der präparierenden Personen.

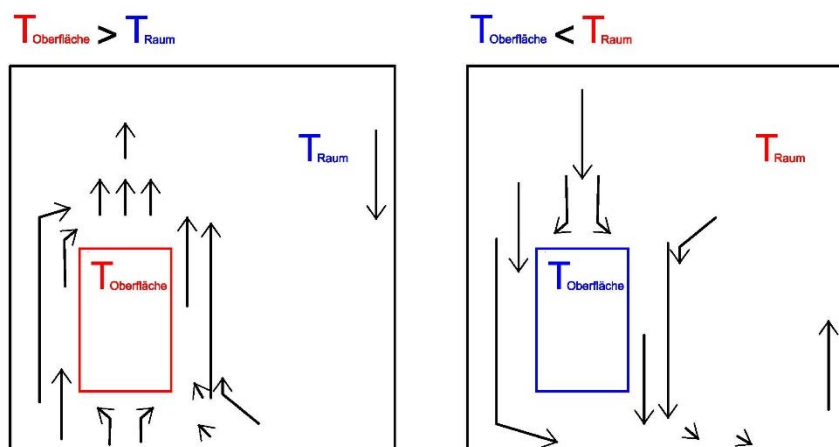


Abbildung 1: Luftströmungen an warmen oder kalten Körpern

1.5.2 Formen der Zuluftströmung

Im Bereich der Raumluftechnik werden Raumströmungen meist mittels des Druckunterschiedes von Ventilatoren erzeugt. Dieses Prinzip ist zum Beispiel bei raumluftechnischen Anlagen, kurz RLT-Anlagen, der Fall. Hierbei wird mittels des Impulses der Zuluft eine Raumströmung aufgebaut. Dies kann über die Einflüsse von inneren Wärme- oder Kältequellen sowie die Lage der Abluftdurchlässe beeinflusst werden.

Man unterscheidet, etwas idealisiert, zwischen Mischströmungen und Verdrängungsströmungen.

In den meisten Fällen herrscht in mechanisch belüfteten Räumen eine ‚turbulente Mischlüftung‘ vor. Diese zeichnet sich dadurch aus, dass Zuluft mit Geschwindigkeiten $> 2 \text{ m/s}$ in den Raum eingeblasen wird, hierbei Raumluft induziert und dabei Temperatur- und Geschwindigkeitsdifferenzen abbaut. Mittels dieses Prinzips findet meist eine komplette Durchmischung des Luftvolumens im Raum statt. Eine Eigenschaft der Mischlüf-

tung ist, dass sich luftgetragene Schadstoffe ebenfalls fast komplett mischen. Unterschiede können sich bei Stoffen, die deutlich leichter oder schwerer als Luft sind, ergeben.

Ein Aufbau von Verdrängungsströmungen erfolgt über flächige Zuluftdurchlässe.

Idealerweise kann die gesamte Raumdecke als Zuluftdurchlass und der gesamte Fußboden als Abluftdurchlass ausgebildet sein. Luft tritt gleichmäßig über die Eintrittsfläche in den Raum ein und über die gegenüberliegende Austrittsfläche wieder aus. Der Impuls der eingebrachten Luft muss hierbei so groß gewählt sein, dass thermische Kräfte, zum Beispiel warme oder kalte Körper, Fenster etc., klein gegenüber den dynamischen Kräften der Zuluft sind.

Luft bewegt sich hierbei wie eine Schicht oder wie ein Kolben durch den Raum. Luftgetragene Schadstoffe werden dabei von der Luft meist ohne nennenswerte Vermischung aus dem Raum getragen. Schadstoffe können gegenüber der Mischlüftung wirksamer aus dem Raum gebracht werden.

Dieses Lüftungsprinzip ist beispielsweise in Reinräumen höherer Reinraumklassen umgesetzt.

Um diese Strömungsart aufzubauen, werden Luftwechselzahlen ab 50-fach pro Stunde und mehr benötigt. Aufgrund der sich ergebenden großen Luftmengen ist diese Lüftungsform meist auf Sonderbereiche beschränkt.

Eine Sonderform der Verdrängungsströmung stellt die Quellschichtung dar. Mittels großflächiger Luftdurchlässe im Boden oder Wandbereich wird Luft in den Raum eingebracht und über Luftdurchlässe im Deckenbereich dem Raum entnommen. Ist die Zulufttemperatur kleiner als die Raumtemperatur, sowie der Einfluss von thermischen Störgrößen in Bezug zur eingebrachten Luftmenge gering, bildet sich eine Frischluftschicht im Bodenbereich aus. Bei richtiger Auslegung befinden sich Personen innerhalb dieser Frischluftschicht oder werden aufgrund der Schicht aufsteigender Luftmengen direkt mit Frischluft versorgt.

Zum Aufbau dieser Strömungsart sind die für die Raumlüftung üblichen Luftwechsel meist ausreichend. Diese liegen deutlich unter denen von Reinräumen.

Nachteilig ist, dass hierbei die Zuluft kälter oder maximal isotherm in den Raum eingebracht werden kann. Heizlasten können nicht gedeckt werden. Aufgrund von Behaglichkeitskriterien sind die Zulufttemperaturen meist auf -3 K bis -6 K begrenzt.

1.5.3 Formen der Abluftströmung

Eine Abluftentnahme aus einem Raum erfolgt über Unterdruck in Bezug zum Raumdruck. Die Luft wird aufgrund des in dem Abluftdurchlass vorherrschenden niedrigeren Luftdrucks in die Öffnung hineinströmen. Man spricht auch von hineinsaugen oder einer Senkenströmung.

Bei Abluftentnahme oder Absaugung gilt, dass bereits bei Entfernungen $> 1\text{ d}$ der Absaugöffnung nur noch geringfügige Saugwirkung festzustellen ist.

Mit Bezug zu den unter Abschnitt 1.5.1 und 1.5.2 genannten Zuluftströmungen sollten die Abluftentnahmepositionen so gewählt werden, dass diese die gewünschte Strömung im Raum unterstützen.

Aufgrund der strömungstechnischen Begrenzung auf den Nahbereich, sollten abzusaugende Bereiche oder Objekte in unmittelbarer Nähe der Absaugstelle, unter Beachtung eventueller konvektiver Strömungen oder Austragsimpulse, positioniert werden.

So zum Beispiel finden direktabgesaugte Tische auf denen das Präparat direkt aufliegt (Demer 2013), (University of Colorado Denver, Anschutz Medical Campus 2016), (Winkler 2011) oder Absaughauben über Herden, hier unterstützt der thermische Auftrieb die Haubenerfassung (California Conference of Directors of Environmental Health 2000), weite Verbreitung. Patel weist in seiner Ausarbeitung darauf hin, dass ein gut funktionierendes Lüftungssystem einen großen Teil der Formaldehydlast mindert. Für Arbeiten an Körperspendern schlägt er Punktabsaugungen vor. Punktabsaugungen sind für Einzelarbeiten sicherlich gut geeignet. Bei Arbeiten mit mehreren Personen am Präparations-tisch jedoch umständlich in der Handhabung und nicht für größere Präparate geeignet (Patel 2017).

1.5.4 Luftlenkung

In den vorherigen Abschnitten wurde gezeigt, dass sich Luft einerseits über Temperatur- und damit Dichteunterschiede bewegt, andererseits, und das deutlich definierter, über Druckunterschiede. Diese können natürlich, wie bei Windlasten am Gebäude oder mechanisch mittels Ventilatoren hergestellt werden.

Absaugungen im Bereich der Raumluftechnik wirken meist nur im unmittelbaren Bereich der Absaugstelle. Mittels thermischer Unterstützung kann die Erfassungsreichweite erhöht werden.

Diese Art der Luftlenkung funktioniert meist nur auf kurze Stecken zielgerichtet. Nach einer gewissen Entfernung ergibt sich aufgrund fehlender Temperaturdifferenzen oder überlagerter anderer Raumlasten ein diffuses, wenig gerichtetes Strömungsbild.

Im Bereich der Zuluft können durch den Impuls der Zuluft deutlich höhere, zielgerichtete Reichweiten erreicht werden (Abbildung 2).

Zum Vergleich: Im Abstand von einem Durchmesser (1D) von der Absaugstelle entfernt, ist nur noch eine geringe Absaugwirkung feststellbar. Bläst man mit der gleichen Austrittsgeschwindigkeit mittels eines Freistrahls in einen Raum, kann etwa die zwanzig bis dreißigfache Reichweite erzielt werden.

Über einen mittels Düsen aufbaubaren Impuls können große Luftmengen über lange Distanzen stabil transportiert werden; dies jedoch unter Beachtung von Strömungsgeschwindigkeiten im Aufenthaltsbereich, einzuhaltenden Schallwerten oder vorhandenen thermischen Temperaturdifferenzen zwischen Düsenzuluft und Raum sowie thermische Auf- und Abtriebe im Raum.

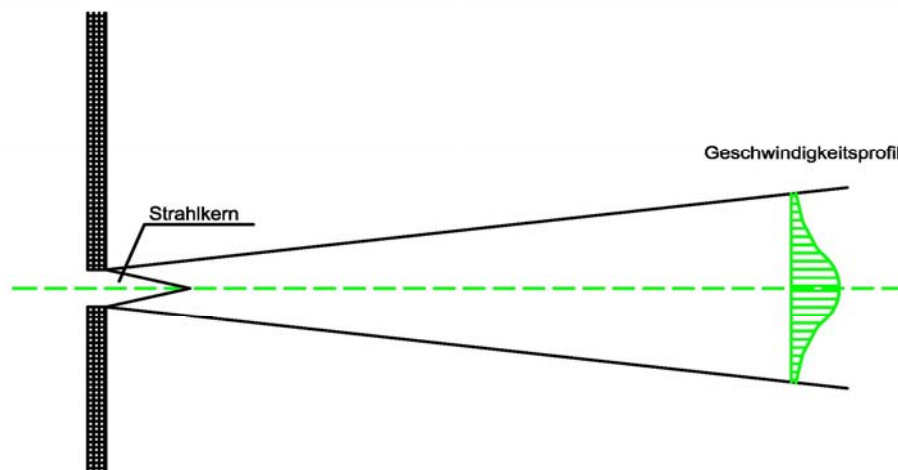


Abbildung 2: Schema isothermer Freistrahls (abgeändert Grundlage nach) (Laakso 1976, S. 151)

Basierend auf diesen Prinzipien soll ein Lüftungssystem entwickelt werden, das effizient für den Austrag von freigesetztem Formalin sorgt. Hierzu ist eine Analyse des Präparier-saals notwendig

1.6 Betrachtung der Luftsituation im Präparationssaal der Justus-Liebig-Universität Gießen

1.6.1 Außenluftdurchlass bis Zuluftdurchlass

Die Lüftungsanlage der Präparationssäle ist als Teilklimaanlage mit den Funktionen

- Filtern
- Fördern
- Erhitzen
- Kühlen

ausgestattet.

Die Außenluft wird in einer zentralen Luftaufbereitung für alle Anlagen der großen Lüftungszentrale über Wetterschutzgitter angesaugt. Danach erfolgt eine Filterung mittels F7 Filter nach DIN EN 779. Dieser Filter gehört zur Gruppe der Feinstaubfilter.

In der nachfolgenden Grundvorwärmung wird die Außenluft bei Bedarf bis 14°C vorgewärmt und über einen zentralen Zuluftkanal den nachfolgenden Anlagen, wie zum Beispiel den Zuluftanlagen der Präparationssäle, zur Verfügung gestellt (Abbildung 3).

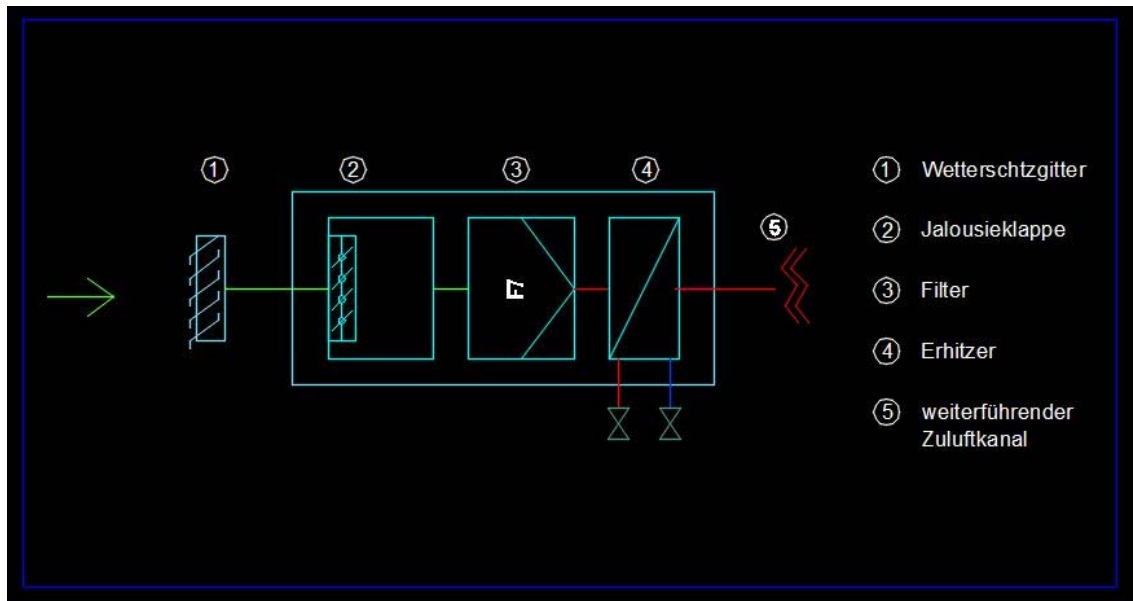


Abbildung 3: Schema Außenluftaufbereitung, Quelle: Hieke

Die Zuluftanlagen der Präparationssäle haben je nachfolgenden Aufbau:

Absperrklappe, Filter mindestens F7, Erhitzer, Kühler sowie Ventilator.

Danach folgt das Stahlkanalsystem bis in den Deckenhohlraum des Präparationssaals. Der Deckenhohlraum wird als Druckbereich genutzt. Zuluft wird mittels 13 raumtiefen Lochstreifen in der Deckenkonstruktion in den Raum eingebracht.

Mit Bezug auf die verwendeten Materialien, die Art der Filterung und Luftbehandlung, aber auch der Luftmenge, kann hier mit Bezug zu VDI 6022 von einer gesundheitlich zuträglichen Luft ausgegangen werden (VDI 6022 Blatt 1 (2018)).

Abluft wird dem Raum über bodennahe Gitterdurchlässe an zwei gegenüberliegenden Seiten entnommen (Abbildung 4).

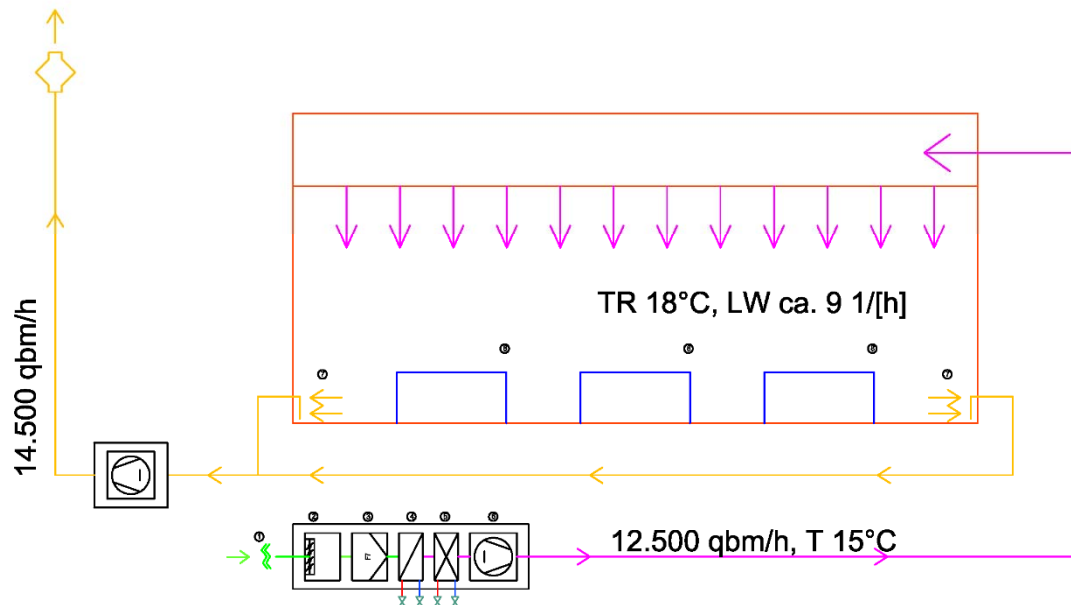


Abbildung 4: Schema Zu- Abluftversorgung des Präparationssaals, Quelle: Hieke

1.6.2 Welche Luft atmet der Student / Lehrende am Präparationstisch ?

Mit Betrachtung der vorgenannten Abschnitte 1.5 wird davon ausgegangen, dass der Luftaustausch im Präparationssaal von etwa 12.500 m³/h Zu- und etwa 14.500 m³/h Abluft für den Schadstoffaustrag ausreicht. Bezogen auf die Abluftmenge werden hier etwa 48 m³/h m² ausgetauscht. Zum Vergleich dieser Luftmengen mit Anforderungen an Labore der Lehre wird im White Paper: Laboratory Ventilation ACH Rates Standard and Guidelines von mindestens 18 m³/(h*m²) ausgegangen. Die deutsche DIN 1946-7 fordert hier 25 m³/(h*m²). Hier wird weiter davon ausgegangen, dass, bezogen auf eine Laborthöhe von etwa drei Meter, Raumlufwechselraten von über 12 im Allgemeinen nicht erforderlich sind (Aircuity 2012).

Auch die American Society of Heating, Refrigerating and Airconditioning Engineers (ASHRAE) geht bei Laboren von sechs bis 10-fachem Luftwechsel pro Stunde aus. (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. 2007). In der Ausarbeitung von C. Keil wird überschlägig von einer durchschnittlichen Emission von 3,15 mg/min pro Tisch und Körperspender ausgegangen. Werden diese Vergleichswerte auf die bestehende Präparationshalle angewendet, so ist auch hier der Luftwechsel für die Schadstoffabfuhr ausreichend (Keil et al. 2001).

Mit Bezug zu den genannten Strömungsformen wird für den Präparationssaal klar, dass die zugeführte Frischluft die am Präparationstisch stehenden Personen kaum oder nur sehr unzureichend erreicht.

Für diese Personen ergibt sich sogar eine partielle Anreicherung von Formaldehyd im Bereich der Atemluft durch die thermisch aufsteigende Luft. Ohmichi weisen in diesem Zusammenhang in Ihrer Studie darauf hin, dass, wenn sich eine Person in der Nähe des Leichentisches befindet, ihr persönlicher Expositionslevel um zwei bis dreimal höher sein kann als die mittlere Formaldehyd Raumluftkonzentration. (Ohmichi et al. 2006).

Makroklima Präparationssaal: Anhand der Strömungen herrscht in der Halle grundsätzlich eine turbulente Mischströmung. Hierbei ist davon auszugehen, dass sich luftgetragene Schadstoffe etwa gleichmäßig verteilen, und weiterhin der Schadstoffaustrag durch Verdünnung erfolgt. Dies gilt vom Prinzip her auch für Formaldehyd. Da der Stoff aber geringfügig schwerer ist als Luft, ist im Bodenbereich von einer etwas höheren Konzentration auszugehen. Hier kann von einer, von der Raumdecke zum Boden, leicht steigenden Konzentration an Formaldehyd sowie luftgetragenen Stoffen, schwerer als Luft, ausgegangen werden.

Betrachtet man hierbei das **Mikroklima der persönlichen Atemluft** einer am Präparationstisch stehenden Person, atmet diese ein Luftgemisch bestehend aus der vorhandenen Basis der Mischluft in der Präparationshalle aber auch einen recht großen Anteil der Luft welche aufgrund des thermischen Auftriebs am eigenen Körper aufsteigt. Der Luftaufstieg beginnt im Bodenbereich, der Zone mit der höchsten Formaldehydbelastung im Bereich der vollständigen Durchmischung. Die am Körper des Praktikumssteilnehmers aufsteigende Luft reichert sich beim Vorbeistreichen an dem mit dem Körperspender belegten Tisch zusätzlich mit Formaldehyd an, bis die Luft im Bereich von Mund oder Nase als persönliche Atemluft Verwendung findet.

Über diesen Mechanismus kommt es zu einer Erhöhung zwischen der Formaldehydgrundbelastung der Präparationshalle und der persönlichen Atemluft der am Präparationstisch stehenden Personen.

Aus diesem Grund sollen nachfolgend Möglichkeiten betrachtet werden, welche diesen Mechanismus hemmen oder gar unterbrechen.

Vier Voraussetzungen sind zu beachten:

- Die Methode muss sich leicht in der bestehenden Halle verwirklichen lassen.
- Die Methode soll die Arbeiten im anatomischen Praktikum möglichst nicht behindern
- Die Methode darf die Personen im anatomischen Praktikum möglichst nicht in ihrer Behaglichkeit stören. In diesem Zusammenhang wird Behaglichkeit hauptsächlich in Anlehnung an die thermische Behaglichkeit, hier z.B. ausgeglichener Wärmehaushalt des eigenen Körpers, gesehen.
- Weiterhin ganz wichtig: Die Methode muss die Anreicherung der persönlichen Atemluft mit Formaldehyd möglichst effektiv vermindern.

1.6.3 Absaugung

Eine sinnvolle und effektive Möglichkeit Schadstoffe aus der Atemluft fernzuhalten ist, diese möglichst direkt am Emissionsort aus dem Makroklima der Präparationshalle zu entnehmen. Dies kann mittels Absaugung erfolgen. Hierbei gibt es verschiedene Möglichkeiten:

Man setzt eine Haube in Form einer ebenen Platte mit mehreren Einlaufdüsen versehen direkt über den Körperspender. Eine solche Haubenausführung wird ‚Düsenplatte‘ genannt und erreicht aufgrund ihrer strömungstechnisch guten Eigenschaften hohe Erfassungsgrade. Wird die Haube aus einem durchsichtigen Material hergestellt, können die Präparationskursteilnehmer Ihre Arbeit durch die Haube sehen.

Hinsichtlich der Schadstoffeffassung ist es nötig, dass die Haube möglichst nah am Spenderkörper angebracht wird, somit der Abstand zwischen Haube und Spenderkörper möglichst gering ist. Als maximale Höhe wird Brustbeinhöhe der am Tisch stehenden Personen angenommen.

Aufgrund der dadurch entstehenden Arbeitseinschränkungen im anatomischen Praktikum wird diese Lösung nicht weiterverfolgt.

Eine ähnliche Konstruktion der Haube wäre auch als Seitenabsaughaube denkbar. Hierbei wird die Absaugfläche senkrecht an der hinteren Längsseite des Präparationstisches angebracht. Die hierfür angenommenen Maße der Haube wären etwa in der Länge wie der Präparationstisch, in der Höhe ca. 60 Zentimeter. Die Höhe müsste durch spätere Versuche optimiert werden (Schmid und Thornton 2014).

Auch bei dieser Lösung entstehen deutliche Einschränkungen im anatomischen Praktikum. Die Personenbelegung der Tische müsste verringert werden. Der Zugriff auf den Körperspender von der hinteren Längsseite wäre aufgrund der Absaugwand nicht mehr gegeben. Bei nötigen Arbeiten in diesem Körperbereich müsste der Körperspender gedreht werden. Deshalb ist diese Lösung nicht zu befürworten.

Eine weitere Variante ist der Einsatz von abgesaugten Tischen (Demer 2011), (Klein et al. 2014). Diese sind am Markt in verschiedenen Ausführungen erhältlich. Eine Absaugung wird meist über die Auflagefläche des Tisches, wie zu Beispiel über gelochte Bleche. Andere Ausführungen arbeiten mit Absaugschlitzen in den Tischrändern. Auch Kombinationen beider Systeme sind erhältlich.

Hierfür üblicherweise verwendete Luftmengen liegen je nach Ausführung zwischen etwa 2.000 m³/h bis 3.000 m³/h pro Tisch.

Technisch kann dies für die bestehenden Präparationssäle nicht umgesetzt werden.

Zwölf Tischen steht im Bestand einem Abluftvolumenstrom von 14.500 m³/h gegenüber. Dieser kann mit den vorhandenen Anlagen nicht auf 24.000 m³/h bis 36.000 m³/h erhöht werden. Auch stehen die für die Tischabsaugung nötigen Kanal- und Rohrinstallationsbereiche im Gebäudebestand nicht zur Verfügung. Gleichfalls setzt diese Lösung die Neuanschaffung von 12 neuen Präparationstischen voraus.

Aus der bereits oben vorgestellten Strömung der Abluft wird erkennbar, dass es physikalisch nicht machbar ist, punkt- oder flächengenau einen Tisch aus größerer Entfernung, wie zum Beispiel die Raumdecke oder die Raumwand, ohne Luftleitung, wie Kanal oder Rohr, abzusaugen.

Zum Verständnis sei nochmals auf folgenden Umstand hingewiesen: Benutzt man für die Absaugung ein Rohr mit Durchmesser d , welches direkt an der Mündung mit 6 m/s absaugt, stehen davon in einem Abstand vom Rohrdurchmesser d nur noch ca. 10% entsprechend 0,6 m/s zur Verfügung. Im Abstand $1,5d$ ist keine Wirkung mehr zu erkennen vgl. (Sprenger et al. 2017, S. 2036).

Entsprechend werden für folgende Überlegungen und Versuche die sonst wirkungsvoll eingesetzte Variante der Tischabsaugung nicht weiter betrachtet (Thullner et al. 2015).

1.6.4 Frischlufteinbringung

Wie gezeigt, sind die üblichen Möglichkeiten Schadstoffe mittels Absaugung direkt zu erfassen in den bestehenden Hallen der Anatomie nur schlecht umzusetzen.

Deshalb wird im Weiteren die Einbringung von Frischluft mit Bezug zu VDI 6022 für gesundheitlich zuträglicher Atemluft als weitere Option berücksichtigt.

1.7 Darstellung des Wertes Stoffindex mit Bezug zu TRGS 402

Um langfristig eine Sicherheit zu erlangen, muss neben dem Arbeitsplatzgrenzwert mit der Spitzenbegrenzung auch der Stoffindex für Formaldehyd eingehalten werden.

Mit Bezug zu TRGS 402 Ermitteln und Beurteilen der Gefährdungen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen: Inhalative Exposition (vgl. TRGS 402, Ausgabe Januar 2010, Fassung 15.02.2017, Abschnitt 5.2) gilt:

Nach Abschnitt 5.2 der TRGS 402 wird bei Stoffen mit verbindlichem Grenzwert zur Vergleichbarkeit der Stoffindex herangezogen. Dieser berechnet sich aus dem Schichtmittelwert der Einzelstoffe durch Division mit dem jeweilig verbindlichen Grenzwert.

Bei Einzelstoffen ist das Verhältnis 1

$$I = \frac{c}{GW}$$

Somit gilt als Grenzwert $I=1$.

Mit Bezug zu TRGS 402 (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin 2017a) , hier Erhebung des Befundes sind verschiedene Aspekte zur Zielerreichung zu betrachten:

- (1) Bei Stoffen mit einem verbindlichen Grenzwert werden die Stoff- und Bewertungsindizes zur Erhebung des Befundes herangezogen.

⇒ Dies gilt für Arbeiten mit Formaldehyd in den Präparationssälen der Anatomie. Verbindlicher Grenzwert wird eingehalten.

(2) Der Befund „Schutzmaßnahmen nicht ausreichend“ liegt vor, wenn der Grenzwert nicht eingehalten wird, der Bewertungsindex BI größer 1 ist oder die Kurzzeit-Wertanforderungen nicht erfüllt sind (Grenzwert überschritten).

⇒ Dies gilt nicht für Arbeiten mit Formaldehyd in den Präparationssälen der Anatomie. Der Grenzwert sowie die Kurzzeitwerte werden eingehalten.

(3) Sind die Stoff- bzw. Bewertungsindizes kleiner oder gleich 1 und die Kurzzeitwertanforderungen erfüllt, kann jedoch

wegen der zeitlichen und räumlichen Schwankungen der inhalativen Exposition bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen allein damit der Befund „Schutzmaßnahmen ausreichend“ nicht begründet werden. Es muss vielmehr begründet werden, warum auch künftig die Erfüllung der Voraussetzungen für den Befund „Schutzmaßnahmen ausreichend“ erwartet wird. Begründungen sind z.B.

- Ermittlungen für den ungünstigen Fall („Worst Case“)
- Relevante Randbedingungen sind langfristig stabil
- Dauerüberwachung
- Fortlaufende Wirksamkeitskontrolle
- Erfahrung von vergleichbaren Arbeitsplätzen

Ist eine solche Begründung nach Absatz 3 nicht möglich, kann mit Bezug zu TRGS 402 auch ein statistisch begründetes formales Verfahren angewendet werden: Bei Einhaltung der Kurzzeitwertanforderungen kann nach DIN EN 689 (Anhang D) [2] der Befund „Schutzmaßnahmen ausreichend“ getroffen werden, wenn

1. der Bewertungsindex BI bzw. die Stoffindizes bei einer Schicht kleiner oder gleich 0,1 sind.

oder

2. Ermittlungsergebnisse für mindestens drei verschiedene Schichten vorliegen und alle Bewertungsindizes bzw. die Stoffindizes kleiner oder gleich 0,25 sind.

Bei Anwendung des formalen Verfahrens muss gewährleistet sein, dass die vorliegenden Ergebnisse die Verhältnisse am Arbeitsplatz repräsentativ widerspiegeln.

Ein Nachweis mit Bezug zu Absatz 3 der TRGS ‚Schutzmaßnahmen ausreichend‘ ist für die Präparationssäle der JLU erst nach einer gewissen Betriebszeit führbar. Bis dahin wird das statistische Verfahren für drei Schichten gewählt. Hierbei dürfen als Messgrenzwert 25% des Stoffindex für Formaldehyd nicht überschritten werden.

Für den dargestellten Stoffindex wurde der Faktor 1 festgelegt. Dieser Faktor gilt für eine tägliche Expositionsdauer von 8 Stunden. Wird diese Dauer nicht erreicht, kann mit entsprechenden Zeitanteilen in Bezug zu 8 Stunden gerechnet werden.

Bei Studenten wird davon ausgegangen, dass diese sich etwa 1,5 h / Tag in der Präparationshalle befinden.

Lehrkräfte haben nachlaufend eine weitere Doppelstunde zu absolvieren. Hier wird von 3h/Tag ausgegangen.

Es ergeben sich somit Minderungsfaktoren von

$$F = \frac{1,5h}{8h} = 0,188 \text{ für Studenten}$$

$$F = \frac{3h}{8h} = 0,375 \text{ für Lehrkräfte}$$

Der Stoffindex berechnet sich $I = \frac{C}{GW} * F$

Hierbei sind

F = Minderungsfaktoren aufgrund von 8h abweichenden Expositionszeiten

C = gemessene Stoffkonzentration

GW = Stoffgrenzwert

Um den Stoffindex von $I=0,25$ zu erreichen, müssen, unter Verwendung der oben genannten Aufenthaltszeiten für Lehrkräfte, die gemessenen Formaldehydwerte kleiner oder gleich $0,25 = \frac{C}{GW} * F$ sein.

Umgestellt nach $C = \frac{0,25}{F} * GW$

ergibt das $C = \frac{0,25}{0,375} * 0,37 \frac{mg}{m^3} = 0,247 \frac{mg}{m^3}$

Da der Teiler für Studenten kleiner ist, würde sich hier ein größerer Wert ergeben.

Hieraus folgt: Kann durch positive dreifache Schichtmessung ein Wert gleich oder unter $0,247 \text{ mg/m}^3$ ausgewiesen werden, können weiterhin die Kurzzeitwerte eingehalten werden, dann liegen die Messergebnisse unter den Forderungen der TRGS für das statistische Verfahren.

Im dann folgenden Präparationshallenbetrieb kann sich auf die TRGS Einstufungskriterien

- Ermittlungen für den ungünstigen Fall („Worst Case“)
- Relevante Randbedingungen sind langfristig stabil
- Fortlaufende Wirksamkeitskontrolle
- Erfahrung von vergleichbaren Arbeitsplätzen

bezogen werden.

Messungen werden zum Beispiel bei Brust- und Bauchsituseröffnung genommen.

Relevante Randbedingungen, wie Luftwechsel der Halle, Düsenjustierung sowie Fixierung und Vorbereitung der Spenderkörper, werden kontrolliert beibehalten.

Düsenjustage und Hallenluftwechsel werden im Zuge der Wartung sichergestellt.

Nach einer gewissen Betriebszeit liegt dann die Erfahrung von 24 Präparationstischen vor.

Unter diesen Bedingungen wäre der Stoffindex von 1 positiv wertbar. Dieser Punkt kann nach erfolgter Betriebszeit mit den Aufsichtsbehörden erörtert werden. Wird das beschriebene Vorgehen anerkannt, bedeutet es eine größere Sicherheit für den Praktikumsverantwortlichen sowie den Anlagenbetreiber.

2 Material und Methoden: Ausarbeitung und Prüfung von Verbesserungsvorschlägen

Aufgrund der Strömungssituation wird am Sektionstisch Formaldehyd in der persönlichen Atemluft angereichert. Dies erfolgt hauptsächlich durch die am Sektionsteilnehmer aufsteigende Luft und die damit verbundene Formaldehydanreicherung über dem Spenderkörper.

Als erstes soll, möglichst unter Einhaltung der in Abschnitt 1.6.2 genannten vier Voraussetzungen das System betrachtet werden.

In einem zweiten Schritt soll dann bei Präparationstätigkeiten an Spenderkörpern eine Verbesserung der Formaldehydsituation mit den jeweilig vorgesehenen Systemen gemessen werden.

Ziel ist einerseits die Einhaltung des Arbeitsplatzgrenzwertes sowie möglichst eine Unterschreitung des 25 %igen Stoffindex für Formaldehyd mit Bezug zum statistischen Nachweis der TRGS 402.

2.1 Lüftung des Präpariersaals über Zu- und Abluft

Als Ausgangssituation wird die vorhandene Lüftungsausstattung der Präpariersäle betrachtet. Der Aufbau der Lüftung des anatomischen Präpariersaals wurde bereits im Kapitel 1.6.1 schematisch dargestellt und beschrieben.

Mittels 13 lochschienenförmiger Deckenluftdurchlässe werden 12.500 m³/h aufbereitete Zuluft in den Raum eingebracht. Zur Vermeidung von Geruchsausbreitung ist die Halle auf leichten Unterdruck einreguliert. Deshalb werden mittels an zwei gegenüberliegenden Seiten angebrachten, bodennahen Gittern (5 Abluftgitter auf der Innenseite, 6 Abluftgitter auf der Fensterseite) dem Raum ca. 14.500 m³/h Abluft wieder entnommen. Rechnerisch ergibt sich ein Luftwechsel von etwa $8 \frac{1}{[h]}$ bezogen auf die Zuluft.

$$LW = \frac{\text{Luftmenge} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right]}{\text{Raumvolumen} [\text{m}^3]} = \frac{12.500 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right]}{16,87\text{m} * 17,3\text{m} * 5,45\text{m}} = 7,9 \frac{1}{[h]}$$

Im Vergleich zu anderen Präparationssälen ist dies ein üblicher Wert und sollte somit zur Schadstoffabfuhr ausreichen.

2.2 Luftlenkung mittels einer Düse

Aus vorgehenden Überlegungen, weiterhin dem achtfachen Luftwechsel und der turbulenten Mischströmung im Raum, wird davon ausgegangen, dass abseits der Präparationstische keine gegenüber dem AGW erhöhten Formaldehydwerte in der Atemluft vorliegen, wie auch Messungen der Unfallkasse Hessen im Jahr 2016 durch Frau Thullner mit Werten von zwischen $0,19 \text{ mg/m}^3$ bis $0,28 \text{ mg/m}^3$ ergeben haben (Thullner 2016a).

Im Weiteren wird sich die Betrachtung der Erreichung zuträglicher Atemluft auf den persönlichen Atembereich der Personen am Präparationstisch konzentrieren.

Um die persönliche Atemluft der Personen am Sektionstisch zu verbessern, soll ein Aufsteigen der Luft an der Person selbst vermieden werden. Das bedeutet, dass eine Formaldehydanreicherung durch die vom Spenderkörper emittierte Formaldehyd haltige Luft durch die am Körper der Präparierenden aufsteigende Sektionshallenluft über den Spenderkörper verhindert oder vermindert wird.

Zu diesem Zweck ist eine Luftlenkung mittels Düsen eine Möglichkeit. Im Bereich der technischen Gebäudeausrüstung kann eine Luftlenkung oder ein Lufttransport sehr gut mittels Düsen realisiert werden. Dies funktioniert selbst über größere räumliche Distanzen. Hier soll eine Düse über dem Präpariertisch das Aufsteigen der Luft an den Studenten verhindern, in dem die Luft im Bereich des Spenderkörpers durch die von der Düse gezielt geführte Luft die formaldehydhaltige Luft Richtung Tischkanten und Boden verdrängt.

Als ersten Auslegungsansatz für die durch Personen aufsteigende Luftmenge wird von $100 \text{ m}^3/\text{h}$ und Person ausgegangen (Keune 2015, S. 61).

Da nicht klar ist, ob die durch die Düse erzeugte Abwärtsströmung von den Nutzern aufgrund der 17°C bis 19°C kühlen Sektionshalle akzeptiert wird, oder ob starke Zuglufterscheinungen auftreten, wird in einem ersten Schritt ein Versuchsexemplar mit nur einer einzelnen Düse gebaut (Abbildung 5).



Abbildung 5: Versuchsexemplar der Düsenblasanlage, Quelle: Hieke

Nach lufttechnischer Auslegung soll die Düsenunterkante etwa 3 m oberhalb der Präparationstischkante positioniert werden. Die Luftmenge der Düse wird hierbei mittels einer im Rohr integrierten Drosselklappe geregelt. Hierüber kann im Versuch die Durchtrittsluftmenge und damit die Luftaustrittsgeschwindigkeit aus der Düse und somit wiederum die durch den Düsenstrahl induzierte Luftmenge beeinflusst werden.

Für den Versuch wird die Düse mittels einer Hubbühne über dem Präparationstisch positioniert (Abbildung 6 und Abbildung 7) und mittels Dräger Kurzzeitröhrchen eine orientierende Formaldehydmessung durchgeführt.



Abbildung 6: Versuchseinzeldüse zur Positionierung an Hubbühne montiert, Quelle: Hieke

Abbildung 7: Orientierende FA Messung bei Betrieb der Versuchseinzeldüse, Quelle: Hieke

Das Düsenblassystem soll so eingestellt werden, dass sich im Kernbereich des Strahles etwa 0,4 m/s über dem Spenderkörper ausbilden.

Mit den in Präparationssälen üblichen Kleidungsstücken wie lange Hose, Schuhe, geschlossener Kittel und Handschuhe, wird mit der im Kernbereich des Strahls angesetzten Geschwindigkeit von 0,4 m/s nicht von größeren Zugbeschwerden seitens der Präparationsteilnehmer am Tisch ausgegangen.

Materialliste			
Düse			
lfd. Nr.:	Anz.	Kurztext	Maße / weitere Angaben
1	1 St.	Rohrventilator, Fabrikat Helios	Typ RR125C
2	1 St.	Reduzierung Stahl verzinkt	DN 125-100
3	1 St.	Drosselklappe, Stahl verzinkt	DN 100
4	1 St.	Ausblasstutzen, gerade mit Vogelschutzgitter, Stahl verzinkt	DN 100
5	1 St.	VMR ohne Drucktransmitter	DN 100
6	1 St.	Reduzierung Stahl verzinkt	DN 200-125
7	1 St.	Schako Weitwurfdüse	WDA-W 63
8	2 St.	Tragschiene	30 mm * 45 mm
9	2 St.	Rohr Stahl verzinkt	DN 100
10	1 St.	Kleinteile, Befestigungsmaterial, Rohrschellen u.s.w.	

Tabelle 1: Materialaufstellung Einzeldüse

2.3 Axialventilator parallel zum Tisch

Um die persönliche Atemluft der Personen am Präparationstisch zu verbessern, wurde als weitere Methode die Erzeugung einer starken Längsströmung entlang des Tisches überprüft.

Im Höhenbereich zwischen Präparationstisch und Kopfhöhe der am Tisch arbeitenden Personen soll, mittels einer längs zum Tisch gerichteten Luftströmung, ein großer Austausch des dortigen Luftvolumens mit der gesamten Präparationshallenluft erreicht werden. Über das aus dem Mikroklima des persönlichen Atemraums nun häufig mit dem Makroklima der Präparationshalle ausgetauschte Volumen, soll eine Verminderung des Formaldehydgehaltes der persönlichen Atemluft erreicht werden.

Die Luftströmung soll mittels eines handelsüblichen Standventilators aufgebaut werden. Dieser steht im Abstand von etwa einem Meter vor dem Kopfende des Tisches.

Eine Regulierung der Strömungsgeschwindigkeit und damit der Lüftungsintensität kann über die Stufenschaltung des Ventilators erreicht werden (Abbildung 8).

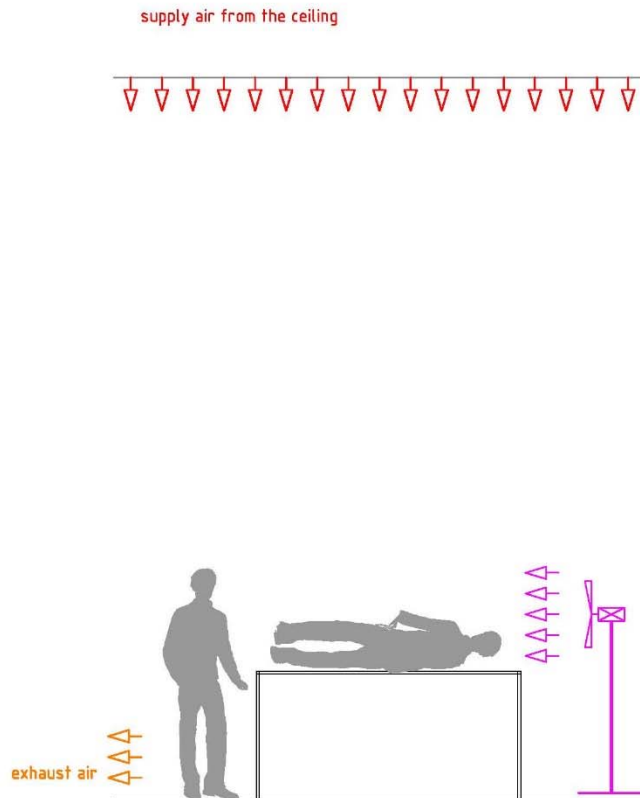


Abbildung 8: Schema Strömungsaufbau über einen Standventilator, Quelle: Hieke

Materialliste Ventilator		
lfd. Nr.:	Kurztext	Maße / weitere Angaben
1	Haushaltsstandventilator, Praktiker	dreistufig schaltbar

Tabelle 2: Materialaufstellung Standventilator

2.4 Aufbau einer Verdrängungsströmung

Hinsichtlich der Anreicherung von Formaldehyd im persönlichen Atembereich der am Präparationstisch stehenden Personen wäre es von Vorteil, wenn eine Möglichkeit gefunden würde, die Luft von oben nach unten zu führen; möglichst ohne dass größere Luftmengen aufgrund von thermischen Auftriebskräften wieder nach oben gelangen.

Im gebäudetechnischen Bereich wird dies in begrenztem Maß durch sogenannte Verdrängungsströmung erreicht.

Hierbei wird Luft möglichst turbulenzarm oberhalb der Personen eingebracht. Eine gute nach unten absperrende Wirkung entsteht dann, wenn es gelingt, die Luft möglichst komplett nach unten abströmen zu lassen.

Dieses Prinzip wird in Reinräumen verwirklicht (Abbildung 9). Hier wird Luft oben im Raum zugeführt und unten dem Raum wieder entnommen. Es entsteht eine ‚kolbenförmige‘ Strömung, die Schadstoffe, in reinen Räumen staubförmige Partikel, hier Formaldehyd, nach unten mit sich nimmt. Durch diesen Vorgang wäre die seitens des Körperspenders emittierte Formaldehydlast optimal von den Personen am Präparationstisch getrennt.

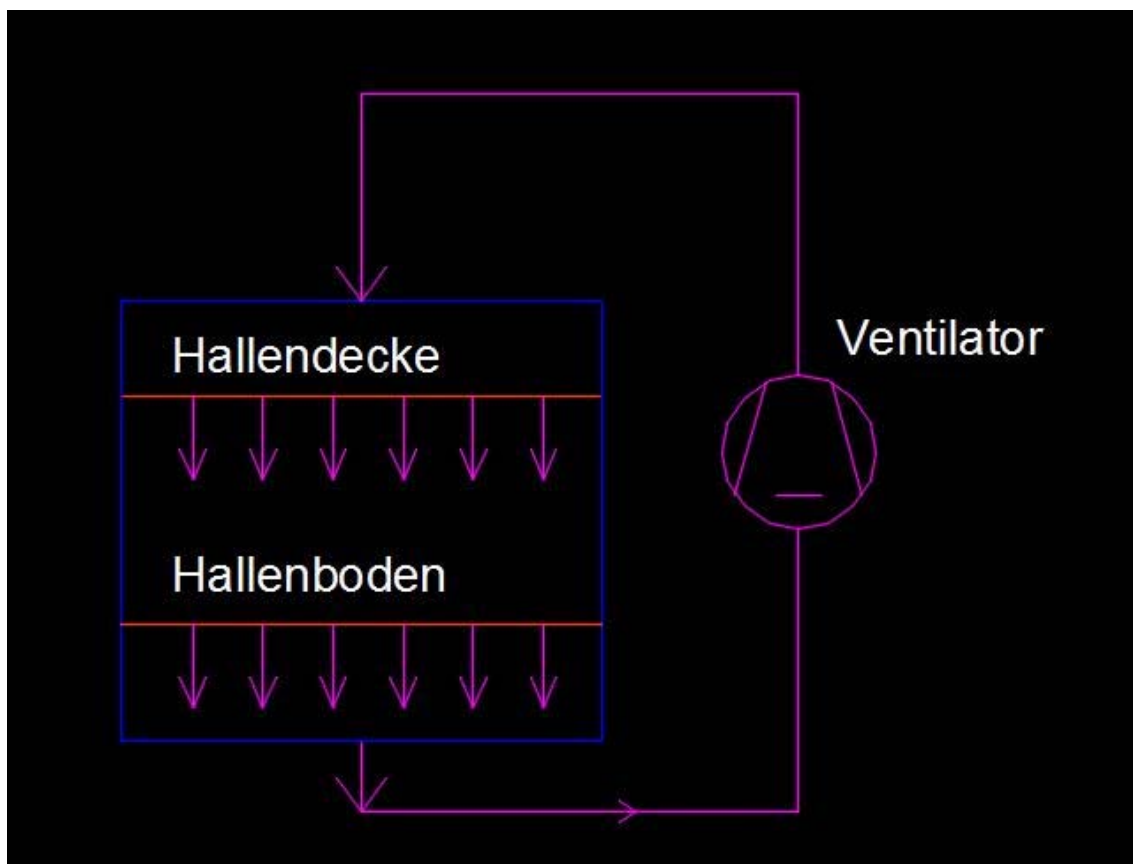


Abbildung 9: Prinzip der Verdrängungsströmung in reinen Räumen, Quelle: Hieke

Im Nachfolgenden wird versucht, einen Reinraum für Messzwecke zu beschaffen.

Über die Firma MCRT Micro CleanRoom Technology GmbH, welche transportable Reinraumzelte für den Einsatz bis mittlerer Reinraumgüte vertreibt, wird für Messzwecke ein solches System ausgeliehen.

Das System besteht aus einem 2,3 m mal 2,3 m großem Reinraumzelt, einer Filter-Gebläseeinheit sowie dem verbindenden Schlauchsystem.

Die größte Zelthöhe beträgt etwa 3,3 m die Personendurchgangshöhe etwa 2 m.

Im Bereich des Zeltdachs ist ein Zuluftdurchlass als Textilschlauchdurchlass angebracht. Hierüber wird die Zuluft über eine möglichst große Fläche in das Zelt eingebracht. Die Seitenteile des Zelts werden bis zum Boden geschlossen. Im Bodenbereich werden geringe Spalte geschaffen, welche als Luftübertritt zur Halle dienen sollen. Aufgrund der Ausführung des Zuluftdurchlasses sowie der beim Versuch geschlossenen Seitenteile wird davon ausgegangen, dass sich eine Strömung von oben nach unten einstellt (Abbildung 10).

Die angegebene Luftmenge ist mittels des Ventilators in EC Ausführung verstellbar. Für den Versuch soll das Ventilator-Filtersystem auf maximale Leistung gestellt werden. Bei dieser Einstellung ist von einer Lieferleistung des Ventilators von etwa 2.500 m³/h auszugehen.

Bezogen auf das Zeltvolumen ergibt sich ein Luftwechsel > 140-fach pro Stunde. Als Vergleich zur Präparationshalle mit etwa 8-fach ist dies etwa 17-mal mehr.

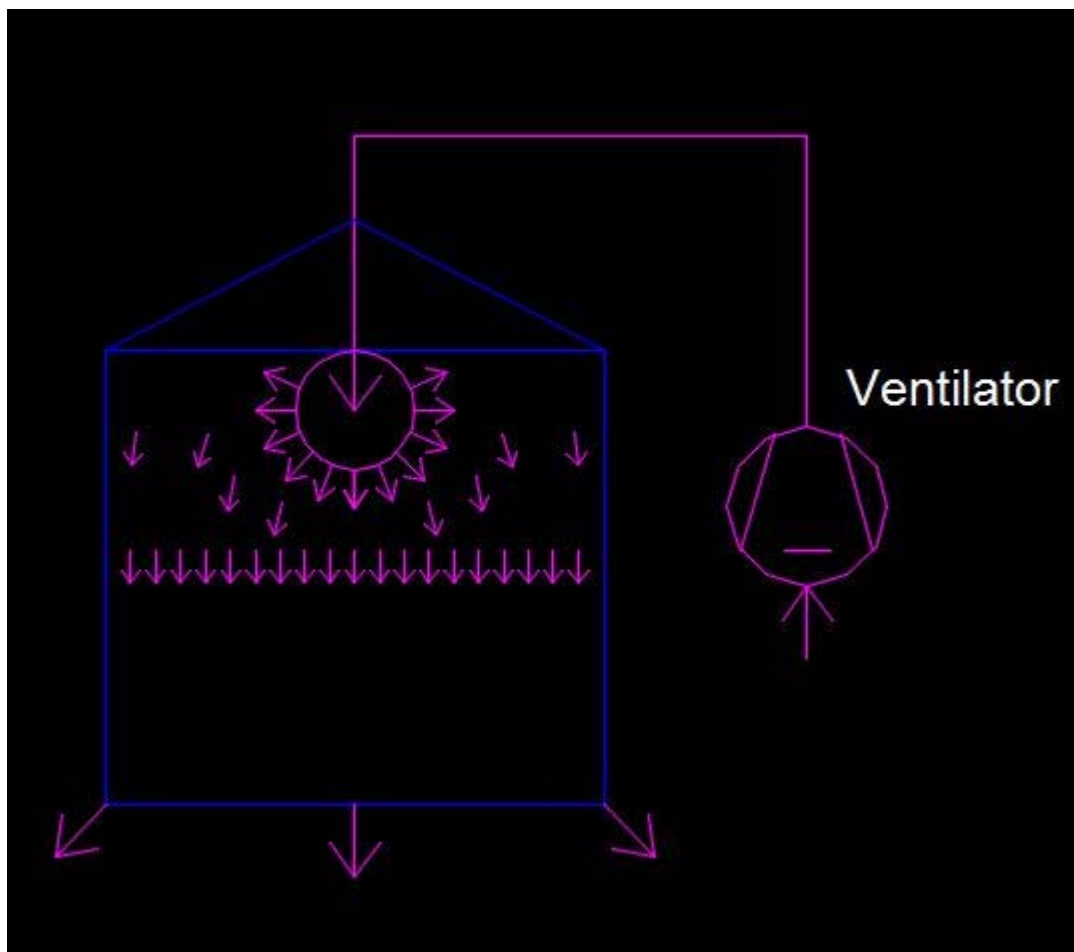


Abbildung 10: Schema Luftströmung im Reinraumzelt, Quelle: Hieke

Materialliste Reinraumzelt		
lfd. Nr.:	Kurztext	Maße / weitere Angaben
1	Reinraumzelt mit Flexi Clean Flow System	2,3 m x 2,3 m; maximale Höhe 3,3 m
2	Gebläseeinheit mit H14 Filter sowie Vorfilter G2 EC/AC Radiallüfter	ca. 2.500 m³/h
3	Verbindungsschlauchsystem zwischen Gebläseeinheit und Zelt	reinraumtauglich, 230 V
4	Zwei Seitenwände Nylon, ohne Fenster	
5	Zwei Seitenwände Nylon, mit Fenster	
6	Quellluftschlauch mittels Ösen im Dachbereich befestigt	Länge 2,2 m, D ca. 280 mm

Tabelle 3: Materialaufstellung Reinraumzelt

2.5 Zuluftlenkung mittels dreier Düsenblaseinrichtung

Mit Bezug zu dem in Abschnitt 2.2 durchgeführten Vorversuch wurde die Einzeldüse auf eine dreier Düsenkombination erweitert.

Hierdurch soll die Düsenwirkung entlang des gesamten Präparationstisches aufgebaut werden.

Materialliste Düsenblasanlage			
lfd. Nr.:	Anz.	Kurztext	Maße / weitere Angaben
1	1 St.	Rohrventilator, Fabrikat Helios	Typ RR125 EC
2	1 St.	Bogen 90°	DN 125
3	3 St.	T-Stück	DN 125-200
4	1 St.	Drosselklappe, Stahl verzinkt	DN 125
5	1 St.	Einströmdüse mit Gitter	DN 125
6	3 St.	Reduzierung Stahl verzinkt	DN 200-125
7	3 St.	Schako Weitwurfdüse	WDA-W 63
8	1 St.	Rohr Stahl verzinkt in Einzellängen	DN 125
9	1 St.	Enddeckel	DN 125
10	1 St.	Tragschienenkonstruktion	40 mm * 40 mm
11	1 St.	Kleinteile, Befestigungsmaterial, Rohrschellen u.s.w.	

Tabelle 4: Materialaufstellung Düsenblasanlage

2.6 Hilfsmittel zur Messung und Darstellung

Messung der Luftführung:

Hierzu wurden Versuche mit Rauchröhrchen (Fa. Dräger, Strömungsprüfer-Set CH216) durchgeführt. Der mittels Rauchröhrchen erzeugte Rauch wird in den Luftstrom aufgegeben, die Bewegung des Rauchs beobachtet und photographisch dokumentiert.

Messung der Luftgeschwindigkeit:

Luftgeschwindigkeitsmessungen wurden mittels eines Hitzdrahtanemometers Typ TA 5 der Firma Airflow gemessen. Hierzu wurde der Sensor in den Luftstrom gehalten, der Messwert abgelesen.

Rastermessungen wurden mit einem testo 480-Klimamessgerät der Fa. Testo (Artikel Nr.: 0563 4800) sowie einer Hitzdrahtsonde für Strömungsmessungen bis 5 m/s (Artikel Nr.: 0635 1048) durchgeführt, die ermittelten Messwerte abgelesen.

Orientierende Messung der Formaldehydkonzentration:

Die Messung erfolgte über Dräger Gasspürpumpe accuro (Art. Nr.: 1007453) sowie Dräger Röhrchen für Formaldehyd 0,2/a (Bestell-Nr. 6733081). Hierzu wurden gemäß Herstellervorgabe 20 Pumpzüge durchgeführt, das Messergebnis anhand der Skala und Röhrchenverfärbung abgelesen.

Messung der Formaldehydkonzentration in der Atemluft mittels definierter Sammlung von Luft aus dem Atembereich, deren Formaldehyd an ein Absorbens gebunden wird:

Die Probennahme erfolgte durch Frau Sonja Pfeil, die Auswertung wurde von ARGUK-Umweltlabor GmbH durchgeführt.

Funktionsweise des Messverfahrens bei der Probennahme:

Die Probennahme zur Formaldehydmessung der Luft wird mittels einer durchflussskalierten Pumpe und Absorbensröhrchen umgesetzt.

Diese dient zur Überwachung des Arbeitsplatzgrenzwertes sowie der Spitzenwertbegrenzung nach TRGS 900. Hierbei wird ein definiertes Luftvolumen über ein Absorbens geleitet. Die Probennahmedauer wird der Dauer der zu überprüfenden Tätigkeit angepasst. Kurzzeitmessungen werden üblicherweise mit 15 Minuten durchgeführt. Die Probennahme und Probenauswertung im Labor wird gemäß den Vorgaben der Messverfahren für Aldehyde der IFA-Arbeitsmappe AM 6045 durchgeführt (Assenmacher-Maiworm, Hahn, J.U. 2009). Parallel dazu gelten die Normen DIN EN ISO 16000-1 und 16000-2 für Probennahmestrategie und Messplanung (DIN EN ISO 16000-1), (DIN EN ISO 16000-2). Das hier beschriebene DNPH (2,4 Dinitrophenylhydrazon)-Verfahren ist für den Nachweis von geringen Mengen Carbonylverbindungen geeignet (Giehning 1999).

2.7 Präparate zur Messung vom 08.12.2016 im Präparationssaal Ost, alle Tische mit Düsenblasanlage sowie zusätzlich mit Einsatz von Infutrace™

Nachfolgend die Aufstellung der Spenderkörper, deren Fixierung und Vorbereitung für die Messung.

Proben für die Messung des Formaldehydgehaltes:

Präparationsstand: Für den jetzigen Kurs vorgesehene Präparate ohne Haut und ohne subcutanes Fettgewebe

ID 20-15 KS weiblich, **Tisch 26**, perfundiert: 31.8.15

Fixierung:

- **3 % FA**, 5 % Phenoxyethanol, 5 % Glycerin, 62.9 % Ethanol, H₂O
- 1.3 l FA 37 %, 0.8 l Phenoxyethanol, 0.8 l Glycerin, 10 l Ethanol, 3 l H₂O

Weitere Behandlung / Lagerung:

- Je 100 ml 20 %iges Infutrace injiziert in Bauchhöhle und Brustsitus
- Befeuchtet mit 11 %igem Infutrace solange die Präparate auflagen (je einmal Dienstag, Mittwoch und Donnerstag früh)
- In Terralin (14 Liter auf 1400 Liter Wasser) gelagert seit 16.11.16

ID 24-15 KS weiblich, **Tisch 23**, perfundiert: 13.10.15

Fixierung:

- **3 % FA**, 5 % Phenoxyethanol, 5 % Glycerin, 62.9 % Ethanol, H₂O
- 1.3 l FA 37 %, 0.8 l Phenoxyethanol, 0.8 l Glycerin, 10 l Ethanol, 3 l H₂O

Weitere Behandlung / Lagerung:

- Je 100 ml 20 %iges Infutrace injiziert in Bauchhöhle und Brustsitus
- Befeuchtet mit 11 %igem Infutrace solange die Präparate auflagen (je einmal Dienstag, Mittwoch und Donnerstag früh)
- Eingeschweißt mit 2 l Infutrace gelagert seit 15.11.16

Präparate mit verschiedenen Fixierungen zur Formadehydreduktion:

ID 39-16 KS männlich, eingeliefert: 8.11.16 / perfundiert: 8.11.16

Fixierung:

- **2.14 % FA**, 2.5 % Phenoxyethanol, 2.5 % Glycerin, 87 % Ethanol, H₂O
- 0.58 l FA, 0.25 l Phenoxyethanol, 0.25 l Glycerin, 8.75 l Ethanol, 0.2 l H₂O

Weitere Behandlung / Lagerung:

- Nach 10 Tagen mit Infutrace (20 %) perfundiert Verhältnis 4:1
- Befeuchtet mit 11 %igem Infutrace solange die Präparate auflagen (je einmal Dienstag, Mittwoch und Donnerstag früh)
- Eingeschweißt am 23.11. ohne Infutrace

ID 29-15 KS männlich, eingeliefert: 21.11.15 / perfundiert: 21.11.15

Fixierung:

- **3 % FA**, 5 % Phenoxyethanol, 5 % Glycerin, 62.9 % Ethanol, H₂O
- 1.3 l FA 37 %, 0.8 l Phenoxyethanol, 0.8 l Glycerin, 10 l Ethanol, 3 l H₂O

Weitere Behandlung / Lagerung:

- Eingeschweißt gelagert bis 3. November;
- Nachperfundiert mit Infutrace (20 %) 25.11.16
- Befeuchtet mit Infutrace (11 %),
- Eingeschweißt

ID 34-16 KS weiblich, eingeliefert: 15.10.16 / perfundiert: 17.10.16

Fixierung:

- **2.14 FA**, 2.5 % Phenoxyethanol, 2.5 % Glycerin, 87.2 % Ethanol, H₂O
- 0.58 l FA, 0.25 l Phenoxyethanol, 0.25 l Glycerin, 8.75 l Ethanol, 0.2 l H₂O

Weitere Behandlung / Lagerung:

- Eingeschweißt gelagert
- Bauchsitus eröffnet am 03.11.16 UEG-Messung, erneut eingeschweißt
- Bauchsitus gewaschen mit Infutrace
- Befeuchtet mit 11 %igem Infutrace solange die Präparate auflagen (je einmal Dienstag, Mittwoch und Donnerstag früh)
- Eingeschweißt

ID 43-16 KS weiblich, Eingeliefert: 29.11.16 / Perfundiert: 29.11.16

Fixierung:

- **gesättigte Salzlösung** und **1.48 % FA**, 1.1 % Glycerin, 9 % Ethanol (20 kg NaCl, 1 l FA, 0.5 l Glycerin, 4 l Ethanol, 19.5 l H₂O)

Weitere Behandlung / Lagerung:

- Befeuchtet mit 11 %igem Infutrace solange die Präparate auflagen (je einmal Dienstag, Mittwoch und Donnerstag früh)
- Eingeschweißt am 30.11.16 gelagert 08.12.16

ID 32-16 KS weiblich, eingeliefert 05.09.16 / 06.09.16 perfundiert

Fixierung:

- **Ca 1.8 % FA**, 0.8 % Phenol, 0,8 % Thymol, 0.8 % Glycerin, 0.8 % Lysoformin, 0.8 % Diethylenglykol, 21.5 % Ethanol, H₂O (1.5 l FA, 0.25 l Phenol, 2M 0.25 l Thymol, 0.25 l Glycerin, 0.25 l Lysoformin, 0.25 l Diethylenglykol, 6.5 l Ethanol, 21 l H₂O)

Weitere Behandlung / Lagerung:

- Befeuchtet mit 11 %igem Infutrace solange die Präparate auflagen (je einmal Dienstag, Mittwoch und Donnerstag früh)
- Eingeschweißt gelagert

2.8 Präparate zur Messung vom 16.02.2017 im Präparationssaal Ost, alle Tische mit Düsenblasanlage sowie zusätzlich mit weiter optimiertem Einsatz von Infutrace

ID 20-15, aus WS 16/17, KS weiblich, Tisch **26**

Ein geliefert: 30.8.15 / perfundiert: 31.8.15

Fixierung:

- **3 % FA**, 5 % Phenoxyethanol, 5 % Glycerin, 62.9 % Ethanol (1.3 l FA 37 %, 0.8 l Phenoxyethanol, 0.8 l Glycerin, 10 l Ethanol, 3 l H₂O)

Weitere Behandlung / Lagerung:

- Infutrace (20%) injiziert in Bauchhöhle und Brustsitus
- befeuchtet mit Infutrace (11%)
- in Terralin gelagert seit: 16.11.16
- Befeuchtet mit 11 %igem Infutrace solange die Präparate auflagen

Präparationsstand:

Bei dem Präparat sind die Muskeln sowohl oberflächlich, als auch in den tiefen Schichten dargestellt.

ID 24-15 aus WS 16/17, KS weiblich, Tisch **23**

Eingeliefert: 12.10.15 / perfundiert: 13.10.15

Fixierung:

- **3 % FA**, 5 % Phenoxyethanol. 5 % Glycerin, 62.9 % Ethanol
(1.3 l FA 37 %, 0.8 l Phenoxyethanol, 0.8 l Glycerin, 10 l Ethanol, 3 l H₂O)

Weitere Behandlung / Lagerung:

- Infutrace (20 %) injiziert in Bauchhöhle und Brustsitus
- befeuchtet mit Infutrace (11 %)
- eingeschweißt mit 2 l Infutrace gelagert seit 15.11.16
- Befeuchtet mit 11 %igem Infutrace solange die Präparate auflagen

Präparationsstand:

Bei dem Präparat sind die Muskeln sowohl oberflächlich, als auch in den tiefen Schichten dargestellt.

ID 5-16 für Sommersemester 17, KS weiblich, Tisch **10**

Eingeliefert: 25.02.16 / perfundiert: 26.02.16

Fixierung:

- **3 % FA**, 5 % Phenoxyethanol. 5 % Glycerin, 62.9 % Ethanol
(1.3 l FA 37 %, 0.8 l Phenoxyethanol, 0.8 l Glycerin, 10 l Ethanol, 3 l H₂O)

Weitere Behandlung / Lagerung:

- **Keine Behandlung mit Infutrace**

Präparationsstand:

Noch vollständig, mit Haut

ID 31-15 für Sommersemester 17, KS weiblich, Tisch **8**

Eingeliefert: 12.12.15 / perfundiert: 13.12.15

Fixierung:

- **3 % FA**, 5 % Phenoxyethanol. 5 % Glycerin, 62.9 % Ethanol
(1.3 l FA 37 %, 0.8 l Phenoxyethanol, 0.8 l Glycerin, 10 l Ethanol, 3 l H₂O)

Weitere Behandlung / Lagerung:

- 9.2.17 Unterspritzung des subcutanen Fettgewebes mit 20 %igem Infutrace
- 9.2.17 Injektion in Abdomen und Brustsitus
- Absprayen mit 11 %igem Infutrace

Präparationsstand:

Noch vollständig, mit Haut

ID 4-16 für Sommersemester 17, KS weiblich, Tisch **2**

Eingeliefert: 05.02.16 / perfundiert: 05.02.16
Zusätzliche Information: voluminöse Leiche

Fixierung:

- **3 % FA**, 5 % Phenoxyethanol, 5 % Glycerin, 62.9 % Ethanol
(1.3 l FA 37 %, 0.8 l Phenoxyethanol, 0.8 l Glycerin, 10 l Ethanol, 3 l H₂O)

Weitere Behandlung / Lagerung:

- 9.2.17 Unterspritzung des subcutanen Fettgewebes mit 20 % igem Infutrace
- 9.2.17 Injektion in Abdomen und Brustsitus
- Absprayen mit 11 %igem Infutrace

Präparationsstand:

Noch vollständig, mit Haut

Neue Fixierungen:

ID 3-17, KS weiblich,
Eingeliefert: 29.01.17 / perfundiert: 30.01.17

Fixierung:

- **1.85 % FA**, 0.8 % Thymol, 0.8 % Glycerin, 0.8 % Lysoformin, 0.8 % Diethylenglykol, 21.6 % Ethanol
- (1.5 l FA, 2M 0.25 l Thymol, 0.25 l Glycerin, 0.25 l Lysoformin, 0.25 l Diethylenglykol, 6.5 l Ethanol, 21 l H₂O)

Weitere Behandlung / Lagerung:

- Keine weitere Vorbehandlung mit Infutrace

Präparationsstand:

Noch vollständig, mit Haut

ID 4-17, KS weiblich,
Eingeliefert: 1.02.17 / perfundiert: 1.02.17

Fixierung:

- **1.48 % FA, gesättigte Salzlösung**, 2 % Glycerin, 16 % Ethanol
(10 kg NaCl, 1 l FA 37 %, 0.5 l Glycerin, 4 l Ethanol, 19.5 l H₂O)

Weitere Behandlung / Lagerung:

- Keine weitere Vorbehandlung mit Infutrace

Präparationsstand:

Noch vollständig, mit Haut

2.9 Präparate zur Messung vom 27.04.2017 im Präparationssaal Ost, alle Tische mit Düsenblasanlage, optimierter Einsatz von Infutrace, hier Messung von ungünstigen / erschwerten Bedingungen

Hier für die Messung des Formaldehydgehaltes bei Situs- und Abdomenöffnung:

ID 20-15, aus WS 16/17, KS weiblich, Tisch **26**

Eingeliefert: 30.8.15 / perfundiert: 31.8.15

Fixierung:

- **3 % FA**, 5 % Phenoxyethanol, 5 % Glycerin, 62.9 % Ethanol
(1.3 l FA 37 %, 0.8 l Phenoxyethanol, 0.8 l Glycerin, 10 l Ethanol, 3 l H₂O)

Weitere Behandlung / Lagerung:

- Infutrace (20 %) injiziert in Bauchhöhle und Brustsitus
- befeuchtet mit Infutrace (11 %)
- in Terralin gelagert seit: 16.11.16 bis zur Messung am 08.12.2016
- Weitere Lagerung in 1 % bis 2 % Terralin bis vor Kursbeginn am 5.01.17
- Nach Kursabschluss am 14.02.17 gelagert in 1 % Terralin (in Küvette) bis zum Beginn des Sommersemesters am 18.04.2017
- 18.04.2017 erneute Injektion 20 %igem Infutrace in Brustsitus und Abdomen
- Befeuchtet mit 11 %igem Infutrace solange die Präparate auflagen

ID 16-15, aus WS 16/17, KS weiblich, Tisch **24**

Eingeliefert: 12.10.15 / perfundiert: 13.10.15

Fixierung:

- **3% FA**, 5 % Phenoxyethanol, 5 % Glycerin, 62.9 % Ethanol
(1.3 l FA 37 %, 0.8 l Phenoxyethanol, 0.8 l Glycerin, 10 l Ethanol, 3 l H₂O)

Weitere Behandlung / Lagerung:

- Infutrace (20 %) injiziert in Bauchhöhle und Brustsitus
- befeuchtet mit Infutrace (11 %)
- in Terralin gelagert seit: 16.11.16 bis zur Messung am 08.12.2016
- Weitere Lagerung in 1 % bis 2 % Terralin bis vor Kursbeginn am 5.01.17
- Nach Kursabschluss am 14.02.17 gelagert in 1 % Terralin (in Küvette) bis zum Beginn des Sommersemesters am 18.04.2017
- 18.04.2017 erneute Injektion 20 %igem Infutrace in Brustsitus und Abdomen
- Befeuchtet mit 11 %igem Infutrace solange die Präparate auflagen

ID 24-15 KS weiblich, **Tisch 23**, perfundiert: 13.10.15

Fixierung:

- **3 % FA**, 5 % Phenoxyethanol, 5 % Glycerin, 62.9 % Ethanol, H₂O
- 1.3 l FA 37 %, 0.8 l Phenoxyethanol, 0.8 l Glycerin, 10 l Ethanol, 3 l H₂O

Weitere Behandlung / Lagerung:

- Je 100 ml 20 %iges Infutrace injiziert in Bauchhöhle und Brustsitus
- Befeuchtet mit 11 %igem Infutrace solange die Präparate auflagen (je einmal Dienstag, Mittwoch und Donnerstag früh)
- eingeschweißt mit 2 l Infutrace gelagert seit 15.11.16 bis zur Messung am 08.12.16
- Weitere Lagerung in 1 % bis 2 % Terralin bis vor Kursbeginn am 5.01.17
- Nach Kursabschluss am 14.02.17 gelagert in 1 % Terralin (in Küvette) bis zum Beginn des Sommersemesters am 18.04.2017
- 18.04.2017 erneute Injektion 20 %igem Infutrace in Brustsitus und Abdomen
- Befeuchtet mit 11 %igem Infutrace solange die Präparate auflagen

ID 18-14, aus WS 16/17, KS weiblich, **Tisch 18**

Eingeliefert: 30.05.14 / perfundiert: 30.05.14

Fixierung:

- **3 % FA**, 5 % Phenoxyethanol, 5 % Glycerin, 62.9 % Ethanol (1.3 l FA 37 %, 0.8 l Phenoxyethanol, 0.8 l Glycerin, 10 l Ethanol, 3 l H₂O)

Weitere Behandlung / Lagerung:

- Infutrace (20 %) injiziert in Bauchhöhle und Brustsitus
- befeuchtet mit Infutrace (11 %)
- in Terralin gelagert seit: 16.11.16 bis zur Messung am 08.12.2016
- Weitere Lagerung in 1 % bis 2 % Terralin bis vor Kursbeginn am 5.01.17

- Nach Kursabschluss am 14.02.17 gelagert in 1 % Terralin (in Küvette) bis zum Beginn des Sommersemesters am 18.04.2017
- 18.04.2017 erneute Injektion 20 %igem Infutrace in Brustsitus und Abdomen
- Befeuchtet mit 11 %igem Infutrace solange die Präparate auflagen

ID 25-14, aus WS 16/17, KS männlich, Tisch 17

Eingeliefert: 15.10.14 / perfundiert: 15.10.14

Fixierung:

- **3 % FA**, 5 % Phenoxyethanol, 5 % Glycerin, 62.9 % Ethanol
(1.3 l FA 37%, 0.8 l Phenoxyethanol, 0.8 l Glycerin, 10 l Ethanol, 3 l H₂O)

Weitere Behandlung / Lagerung:

- Infutrace (20 %) injiziert in Bauchhöhle und Brustsitus
- befeuchtet mit Infutrace (11 %)
- in Terralin gelagert seit: 16.11.16 bis zur Messung am 08.12.2016
- Weitere Lagerung in 1 % bis 2 % Terralin bis vor Kursbeginn am 5.01.17
- Nach Kursabschluss am 14.02.17 gelagert in 1 % Terralin (in Küvette) bis zum Beginn des Sommersemesters am 18.04.2017
- 18.04.2017 erneute Injektion 20 %igem Infutrace in Brustsitus und Abdomen
- Befeuchtet mit 11 %igem Infutrace solange die Präparate auflagen

3 Ergebnisse der Prüfung von Verbesserungsvorschlägen

3.1 Lüftung des Präpariersaals über Zu- und Abluft

Zuerst sollen die Präpariersäle in der unveränderten Ausrüstung betrachtet werden.

Aufgrund der Raumhöhe von etwa 5,5 m konnten in ca. 1,8 m (Höhenbereich stehender Personen) nur noch geringe Luftgeschwindigkeiten der Zuluft festgestellt werden.

Im Bereich von Personen oder Personengruppen ergab sich durch deren thermischen Auftrieb sogar eine Strömungsumkehr.



Abbildung 11: Strömungsdarstellung mit Rauchfaden, Quelle: Hieke

Hier konnten aufwärts gerichtete Luftströmungen festgestellt werden (Abbildung 11).

Die ermittelten Geschwindigkeiten sind abhängig vom Messort sowie von der Personenanzahl und liegen im Mittel zwischen 0,09 m/s bis 0,15 m/s (Abbildung 12).

An Personen oder Personengruppen wurde am Körper sowie über den Personen aufsteigende Luft festgestellt. Das bedeutet, dass im Bereich der persönlichen Atemluft von Personen diese die Atemluft nicht direkt von oben erhalten, sondern von aus dem unteren Hallenbereich oder Bodenbereich mit aufsteigender Luft versorgt werden. Wird diese Luft zur persönlichen Atemluft der in der Präparationshalle stehenden Personen, kann aufgrund der vorherrschenden Mischlüftung von einer Formaldehydbelastung ähnlich der des Raummittelwertes ausgegangen werden.

Für die am Präparationstisch stehende Personen kommt zur Grundlast des Raumes noch die zusätzliche Formaldehydlast über den Körperspender hinzu.



Abbildung 12: Luftgeschwindigkeiten in der Halle bei etwa 1.8m Höhe, Quelle: Hieke

Bemerkenswert sind die dargestellten über den Personen registrierten, aufsteigenden Luftströme (Abbildung 11). Die Atemluftversorgung der Personen erfolgt über die an den Personen aufsteigende Luft, welche ihre Quelle hauptsächlich im Bodenbereich hat.

Der Schadstoffaustrag aus der Halle erfolgt im Allgemeinen durch Mischlüftung und somit durch Verdünnung. Formaldehyd hat eine relative Gasdichte von 1,037 und verhält sich prinzipiell sehr luftähnlich. Abseits der Präparationstische wird sich somit überall ein ähnlicher Formaldehydwert ausbilden. Dieser ist abhängig von dem Formaldehydeintrag der Präparate in die Hallenluft und somit in die Atemluft, weiterhin dem Formaldehydaustrag durch die Präparationssaallüftung.

Die ursprüngliche Halle entspricht drei der vier geforderten Kriterien – bestehendes Lüftungssystem, keine Einschränkung der Arbeitsmöglichkeit, ungestörte Behaglichkeit, bis auf den wichtigen vierten Punkt, des reduzierten Formaldehydgehalts im direkten Atemluftbereich.

Ohne Verbesserungen wird die Anreicherung der persönlichen Atemluft mit Formaldehyd meist nur abseits der Präparationstische unter dem Grenzwert gehalten, was sich weitestgehend in den Messwerten der Messung vom 29.06 und 30.06.2016 widerspiegelt. Hier liegen die Belastungen im Raum zwischen $0,19 \text{ mg/m}^3$ bis $0,26 \text{ mg/m}^3$. Während parallel dazu an den Tischen Werte zwischen $0,21 \text{ mg/m}^3$ bis $2,3 \text{ mg/m}^3$ ermittelt werden können (ARGUK Umweltlabor GmbH (2016)).

3.2 Luftlenkung mittels einer Düse

Die über dem Präpariertisch mittig angebrachte Einzeldüse wurde so eingestellt, dass sich im Kernbereich des Düsenstrahles etwa $0,4 \text{ m/s}$ über dem Spenderkörper ausbilden. Mittels Rauchfäden wurde die abwärts gerichtete Strömung sichtbar gemacht werden (Abbildung 13).

Es ergibt sich über etwa einem Drittel des Spenderkörpers eine stabile abwärts gerichtete Strömung. Von oben auf den Spenderkörper auftreffende Luftströmung umfließt den Körper und strömt seitlich am Tisch ab, jedoch ist die zur Luftmengeneinstellung benutzte Drosselklappe deutlich hörbar.



Abbildung 13: Strömungsdarstellung mit Düse, der Rauchfaden bleibt über dem Spenderkörper und steigt nicht nach oben, Quelle: Hieke

Zusammenfassend kann festgestellt werden:

- Die beabsichtigte Abwärtsströmung konnte mit dem Versuchssystem stabil erzeugt werden. Befürchtete Befindlichkeitsstörungen am Präparationstisch wurden im Eigenversuch während der Versuchsdauer nicht festgestellt.
- Eine orientierende Messung des Formaldehydgehaltes der Luft etwa 30 cm oberhalb des Körperspenders mittels Dräger-Röhrchen bei kurz vorher geöffnetem Kunststoffbeutel ergab etwa 0,2 ppm.
- Der Bereich der Abwärtsströmung ist im Vergleich zur Tischlänge deutlich schmaler. Ebenfalls ist das System durch die Luftdrosselung mittels Klappe zu laut.

Diese beiden Punkte müssen bei einem später vorgesehenen Einsatz noch verbessert werden.

3.3 Axialventilator parallel zum Tisch

Um die persönliche Atemluft der Personen am Präparationstisch zu verbessern wurde alternativ als weitere Methode die Erzeugung einer starken Längsströmung entlang des Tisches realisiert.



Abbildung 14: Präparationsarbeiten mit Strömungsaufbau über einen Standventilator, Quelle: Hieke

Mittels eines handelsüblichen Standventilators wurde ein Luftstrom in Richtung der Längsachse des Tisches erzeugt. Da der Ventilator die Luft zur Längsachse des Tisches transportieren muss, können die Arbeitsplätze an den Stirnseiten nicht belegt werden (Abbildung 14). Dies wirkt sich negativ auf die mögliche Personenanzahl an den Tischen aus.

Der Anspruch, dass der Lösungsansatz das Arbeiten im anatomischen Praktikum möglichst nicht behindern soll, wird eingeschränkt verwirklicht. Ein Ventilator auf der Kopfseite jedes Tisches stellt eine direkte Geräuschbelästigung sowie eine gewisse Unfallgefahr durch bodenverlegte Kabel und Umstürzen des Ventilators dar.

Hinsichtlich der Behaglichkeit der am Tisch stehenden Personen wird das System als sehr negativ bewertet. Zu Beginn des Versuchs wurde der dreistufige Ventilator mit Stufe zwei betrieben. Schon nach kurzer Zeit stellte sich aufgrund von Kälteempfinden und Zugluft großes Unbehagen bei den Personen am Präparationstisch ein. Der Ventilator wurde für die nachfolgende Formaldehydmessung auf Stufe eins betrieben.

Nachteilig ist ebenfalls eine erhöhte Austrocknung des Spenderkörpers durch die am Probenkörper vermehrt vorbeiströmende Luft. Seitens der Personen am Tisch wird eine Intensivierung des Geruchs beschrieben. Ein damit ansteigender Übergang von Formaldehyd aus dem Spenderkörper in die dem Spenderkörper umgebende Luft kann vermutet werden. Dies wird in nachfolgenden Messungen geprüft.

Die Personen am Tisch klagten über:

- starkes Zugempfinden durch die sich schnell bewegende Luft. Es wird davon ausgegangen, dass zusätzlich Formaldehyd in die Luft übergehen kann.
- Intensivierung des Geruchs
- Versperrung von Arbeits- und Wegefläche durch den aufgestellten Ventilator
- Wegfall von zwei Arbeitsplätzen am Tisch

Luftgeschwindigkeitsmessungen im Bereich der Personen ergaben Geschwindigkeiten zwischen 1,6 m/s und 2,3 m/s. Mit Bezug auf einen möglichst ausgeglichenen Wärmehaushalt des Körpers ist dies selbst mit Arbeitskittel nicht machbar. Sollte diese Lösung bei der Formaldehydmessung im Atembereich positiv bewertet werden, muss im Bereich der Kleidung, in der Organisation des Praktikums in Bezug auf Gruppenstärke am Tisch sowie Unfallverhütung eine Anpassung erfolgen.

3.4 Aufbau einer Verdrängungsströmung

Hinsichtlich der Anreicherung von Formaldehyd im persönlichen Atembereich der am Präparationstisch stehenden Personen soll mittels der Verdrängungsströmung des Reinraumzelts der Formaldehydeintrag vom Spenderkörper vermindert werden.

Vor dem Filter (Abbildung 15) wird durch Rastermessung eine Luftmenge von etwa 2.500 m³/h gemessen.

Es wird Luft turbulenzarm oberhalb der Personen eingebracht. Eine nach unten absperrende Wirkung entsteht durch Abströmung des etwa 140-fachen Luftwechsels pro Stunde im unteren Zeltbereich. Für den Versuch wurde ein Präparationstisch zusammen mit den zehn Präparierenden in das Reinraumzelt verbracht, die Lüftungsanlage des Zeltes gestartet, die Seitenwände des Zeltes angebracht und verschlossen (Abbildung 16). Bereits nach kurzer Versuchszeit begann die Temperatur im Zelt anzusteigen. Dies wurde von den teilnehmenden Personen als sehr störend empfunden, auch da hiermit eine deutliche Steigerung der Geruchsemission des Spenderkörpers einherging. Ebenso

wurden die räumlichen Gegebenheiten um den Präparationstisch sowie die im Zelt vorherrschende Beleuchtung negativ bewertet.



Abbildung 15: Ansicht Reinraumzelt und Platzbedarf mit Gebläse, Quelle: Hieke



Abbildung 16: Versuchsaufbau im Reinraumzelt, Quelle: Hieke

Zusammenfassen lässt sich sagen:

- Da das Zelt zur Erreichung der vorgesehenen Funktion geschlossen werden muss, geht für die Personen im Zelt der Kontakt zum restlichen Praktikum verloren. Dieser Umstand wird seitens der Nutzer als störend empfunden
- Aufgrund der räumlichen Enge im Zelt sowie dem fehlenden Blickkontakt in die Präparationshalle, fühlen sich die Personen eingeengt.
- Durch die Gebläseeinheit sowie die 10 Personen im Zelt, erhöht sich die Temperatur von 17°C -19°C der Halle auf über 25°C im Zelt. Dies wird von den Teilnehmern als sehr unangenehm empfunden.
- Durch die Temperaturerhöhung, entsteht über den Spenderkörper eine deutliche Geruchsbelastung für die Personen im Zelt. Hier muss von einer größeren Formaldehydmission des Körperspenders ausgegangen werden.
- Zum Öffnen und Schließen des Zelts wird zusätzliches, im Bereich der Anatomie, nicht vorhandenes Personal benötigt.
- Als weiterer Nachteil ist der Platzbedarf des Zeltes mit der Gebläseeinheit und deren deutliche Schallemission zu nennen. Die durchzuführenden Praktika könnten mit dieser Systemlösung nicht mit der hierfür nötigen Studentenzahl durchgeführt werden. Weitere Parallelveranstaltungstermine wären nötig.

Wie beim Querstromventilator stellt sich im Versuchsverlauf heraus, dass die eingangs genannten Bedingungen zur Problemlösung nur teilweise erfüllt werden können.

3.5 Zuluftlenkung mittels Düsenblaseeinrichtung

Mit Bezug zu dem in Abschnitt 3.2 durchgeführtem Vorversuch wurde die Düse noch etwas modifiziert und den gestellten Anforderungen angepasst.

Ein erkennbares Problem war die Lautstärke des Ventilators sowie die nötige Drosselung des Luftstroms mittels einer Klappe; ein weiteres die für die Tischlänge nicht ausreichende Strahlbreite. Der gewünschte Downflow konnte zwar eingestellt werden, war aber nur auf einem Teil der Tischlänge wirksam.

Aus oben genannten Gründen wurden folgende Änderungen und Erweiterungen am System vorgenommen:

Zur Reduktion des Schallpegels sollte ein passenderer Ventilator eingesetzt werden. Er muss über eine Drehzahlregelung verfügen. Hier wurde ein Rohrventilator mit EC Antrieb gewählt. Dieser kann über ein 0 V bis 10 V Führungssignal nahezu stufenlos drehzahl geregelt werden. Somit kann eine Einstellung auf den nötigen Betriebspunkt durch Drehzahlregelung und nicht durch Drosselung erfolgen. Hierdurch wird der Schallpegel des Einzelventilators deutlich gesenkt. Dies ist wichtig, da bei positiver Prüfung im späteren Ausbau 12 Systeme pro Präparationshalle eingebaut werden.

Aufgrund der gemessenen Luftstrahlbreite auf Tischhöhe wird ermittelt, dass für die vorliegende Tischbreite drei Düsen vorzusehen sind.

Um den Downflow etwas dem Schwerpunkt des menschlichen Körpers anzupassen, wird die mittlere Düse mittig dem Präparationstisch platziert. Jeweils im Abstand von 0,5m auf der Längsachse des Tisches eine weitere Düse auf beiden Seiten. Somit ergibt sich ein mittenbetonter Downflow, welcher nach außen zum Kopf und den Füßen von der Luftmenge etwas geringer ist. Hier wird davon ausgegangen, dass dies dem Profil eines Körpers und somit auch dem Profil der Formaldehydemission entspricht (Abbildung 18).

In Anlehnung an den gemachten Vorversuch wird die für die Düse benötigte Luft im oberen Bereich der Halle, hier Bereich der Frischlufteinbringung durch die Teilklimaanlage, entnommen. Das System wird mittels Stahlschienen ausgesteift und über Gewindestangen durch die nichttragende Decke über eine weitere, nach Deckenschluss nicht sichtbare Stahlkonstruktion befestigt.

Wie beim Vorversuch wird zwischen Unterkante Düse und Oberkante Tisch ein Abstand von etwa 3 m angestrebt (Abbildung 17).

Zur Sicherung des Downflows, auch bei wechselnder Personenbelegung am Tisch sowie Bewegung im Raum, wird die im Vorversuch gewählte Downflowgeschwindigkeit erhöht. Über Eigenversuche wurde eine neue Grenze von etwa 0,6 m/s im Kernstrahlbereich über den Tischen ermittelt, mit welcher es ohne nennenswerte Zugprobleme möglich ist am Präparationstisch zu arbeiten.

Rückfragen bei Präparierenden am Tisch ergaben diesbezüglich wenig negative Kritik wegen gefühlter Zugscheinungen.

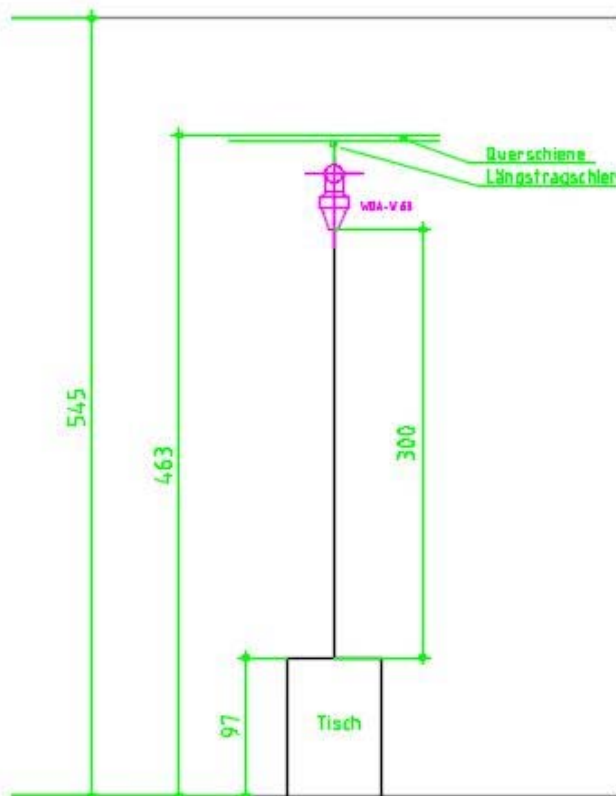


Abbildung 17: Höhenschnitt Düsenblasanlage, Quelle: Hieke

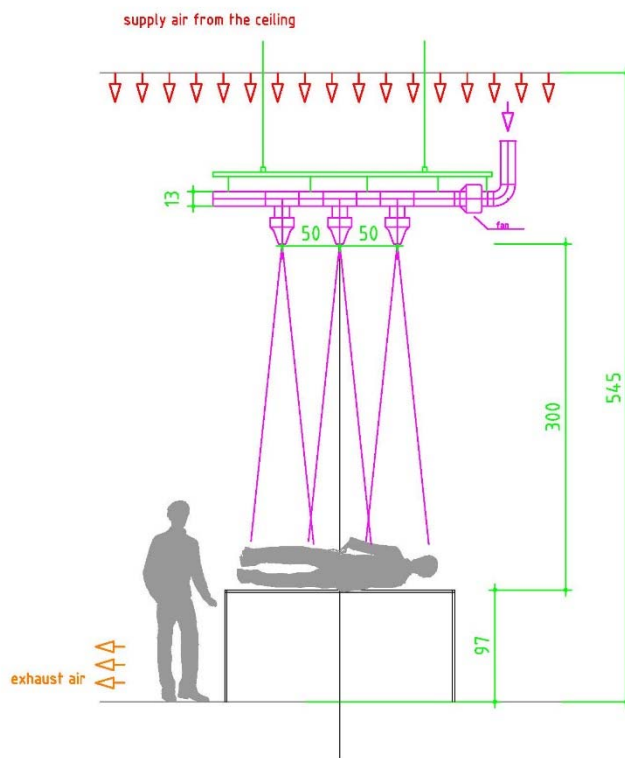


Abbildung 18: : Seitenansicht Düsenblasanlage mit skizzierter Luftstrahlabdeckung des Spenderkörpers auf dem Präparationstisch, Quelle: Hieke

Wie im Anhang 5.4.2 gezeigt, konnte die um zwei Düsen erweiterte und mit einem regelbaren Ventilator versehene Düsenblasanlage eine stabile und über die gesamte Tischbreite reichende Abwärtsströmung erzeugen.

Die zum Betrieb der Düsen notwendige Luft wird über das zur Decke gerichtete Rohrstück angesaugt. Hierdurch wird erreicht, dass die Düsenstrahlluft eine ähnliche Temperatur besitzt wie die Halle. Die Düsenstrahlluft ist daher annähernd isotherm und hat somit immer ein ähnliches Strömungsverhalten. Über den drehzahlregelbaren Ventilator findet die Luftmengeneinstellung statt. Pro Düse werden mit einem Vordruck von etwa 25 Pa am Düsenkopf etwa $65\text{ m}^3/\text{h}$ durch die Düse geleitet. Die Austrittsgeschwindigkeit am Düsenhals beträgt somit rechnerisch etwa 5,8 m/s. Auf dem Weg zum Präparationstisch wird mittels Induktion in den Düsenstrahl Luft aus der Präparationshalle in den Strahl aufgenommen. Dadurch erhöht sich die nach unten abgesetzte Luftmenge und gleichzeitig verringert sich deren Strahlgeschwindigkeit.

Mit Bezug zu der in der Anhang 5.4.2 beschriebenen Einregulierung der Systeme ergibt sich über die drei Düsen ein mittlerer Downflowvolumenstrom von etwa $1.400\text{ m}^3/\text{h}$ pro Tisch.

Diese Luftmenge unterbindet den Auftrieb der am Präparationstisch stehenden Personen, schützt somit den persönlichen Atemraum vor den Emissionen des Spenderkörpers. Gleichzeitig umspült diese Luft den Spenderkörper und verdünnt die abgegebenen Stoffe. Im Weiteren werden diese dann an das Hallenluftvolumen abgegeben. Da die gesamte Konstruktion über dem Tisch an der Hallendecke montiert ist, wird das System von den Personen am Präparationstisch nicht wahrgenommen. Es tritt optisch

und mechanisch nicht in Erscheinung. Gleichfalls werden die Luftströme von den Personen am Tisch nicht als störend aufgenommen. Abbildung 19 zeigt die montierte Düsenblasanlage. Abbildung 20 zeigt das Arbeiten am Präparationstisch unter der Düsenblasanlage.

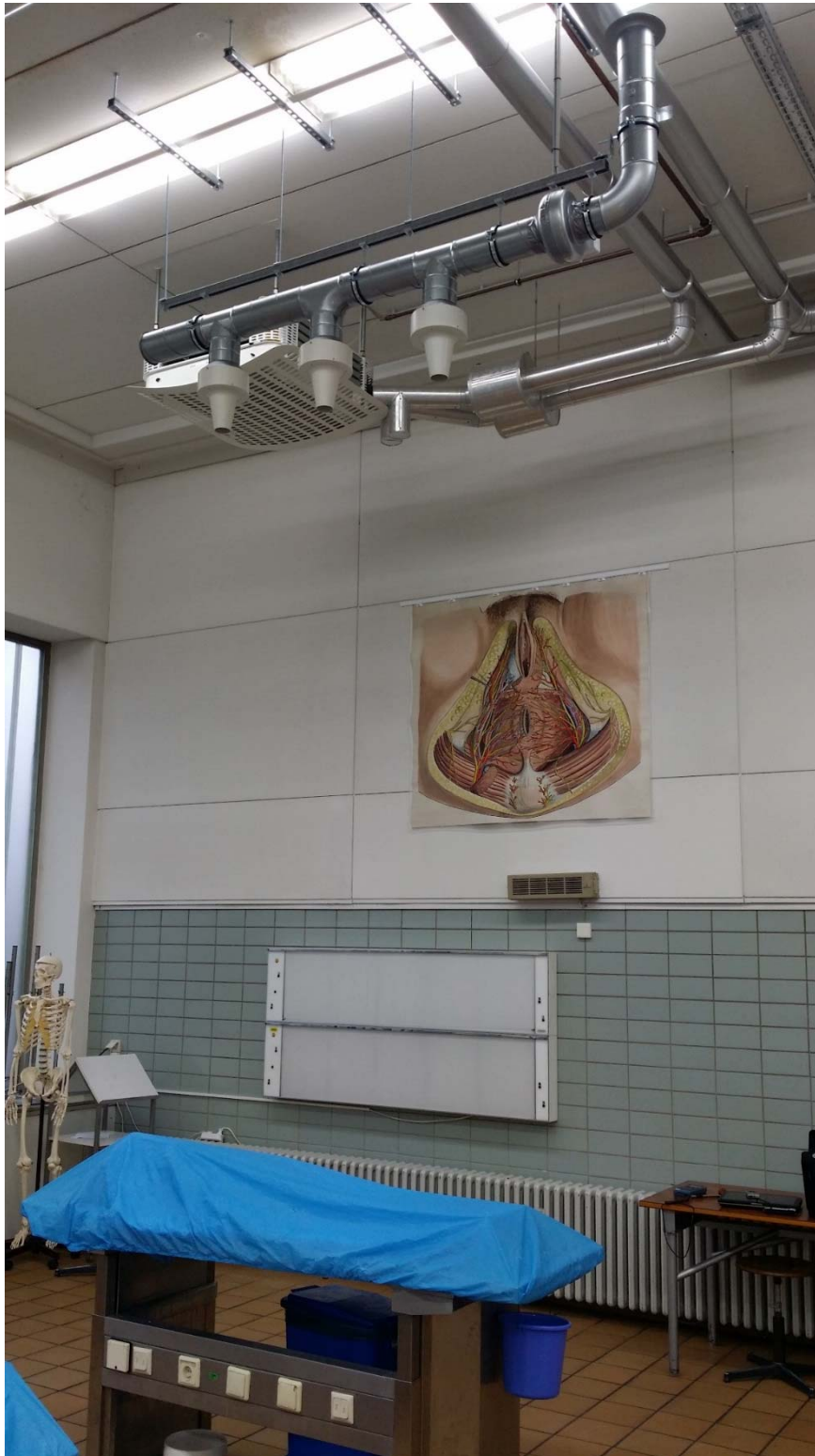


Abbildung 19: Ansicht Düsenblasanlage an einem Tisch, Quelle: Hieke



Abbildung 20: Arbeiten unter der Düsenblasanlage, Quelle: Hieke

In Relation zu den geforderten Voraussetzungen für den Lösungsansatz die zusammen mit den Nutzern des Anatomiesaals entwickelt wurden, sind vier Aspekte, welche durch die Methode einzuhalten sind, ist hier eine optimale Lösung gefunden worden.

- Die Methode muss sich leicht in der bestehenden Halle verwirklichen lassen.
 - Gilt als erfüllt, für diese Methode sind kaum Schnittstellen oder gewerkeübergreifende Arbeiten erforderlich
- Die Methode soll das Arbeiten im anatomischen Praktikum möglichst nicht behindern
 - Gilt als erfüllt. Das System wurde 3 m über dem Präparationstisch angebracht. Das System wird von den Praktikumsteilnehmern bei der Arbeit nicht wahrgenommen.
- Die Methode darf die Personen im anatomischen Praktikum möglichst nicht in ihrer Behaglichkeit stören. In diesem Zusammenhang wird Behaglichkeit hauptsächlich in Anlehnung an die thermische Behaglichkeit, hier z.B. ausgeglichener Wärmehaushalt des eigenen Körpers, gesehen.
 - Gilt als erfüllt, seitens der Nutzer erfolgen keine oder kaum Beschwerden. Positiv wurde seitens der Nutzer angemerkt, dass die Augenreizungen und das Bedürfnis sofort nach dem Praktikum zu duschen, nachgelassen haben. Hier wird davon ausgegangen, dass diese positiven Aspekte durch den schirmenden und verdünnenden Effekt der Düsenblasanlage entstehen.
- Weiterhin ganz wichtig: Die Methode muss die Anreicherung der persönlichen Atemluft mit Formaldehyd möglichst effektiv vermindern.

Dieser Punkt wird ab dem Abschnitt 3.6 zusammen mit den messtechnischen Ergebnissen der Formaldehydmessung in der Raum- und Atemluft näher betrachtet.

Hinsichtlich der zusammen mit der Anatomie abgestimmten Bedingungen fügt sich das System der Düsenblasanlage bisher am besten ein.

Die Düsenblasanlage erfüllt alle Anforderungen an ein solches System. Wie das System die Formaldehydkonzentration in der Sektionshallenluft sowie in der persönlichen Atemluft der Personen reduziert, wird in den nachfolgend angeführten Formaldehydmessungen gezeigt.

3.6 Messtechnische Bewertung in Bezug auf Formaldehyd in der Atemluft

Die Formaldehydmessung wird für die entwickelten Methoden über ein extern beauftragtes Büro, hier Umweltlabor Arguk GmbH durchgeführt. Eine Durchführung der Formaldehydmessungen kann die JLU aufgrund fehlender Ausrüstung nicht selbst durchführen.

In Zusammenarbeit mit der JLU, Frau Prof. Dr. Wimmer, Umweltlabor ARGUK GmbH, Frau Pfeil und mir werden Messabläufe zur Prüfung der einzelnen Systeme und Varianten festgelegt. Die hierdurch gewonnenen Messergebnisse werden nachfolgend dargestellt und dienen zur abschließenden Methodenbewertung.

Messergebnisse vgl. (ARGUK Umweltlabor GmbH (2016))

3.6.1 Messtechnische Bewertung der einzelnen Systeme am 31.08.2016

Für die messtechnische Überprüfung der entwickelten Systeme wurden folgende Vergleichsmessungen vorgenommen:

A) Technische Varianten:

- Messung am Präparationstisch bei normalem Betrieb der Präparationshallenlüftung, also ohne Modifikation des bestehenden Systems
- Variante Axialventilator
- Variante Reinraumzelt
- Variante Deckendüse

B) Probeneinfluss:

- Spenderkörper mit 2,4 % Formaldehydfixierung, frische Formaldehydfixierung, Beginn der Hautpräparation
- Spenderkörper 3,4 % Formaldehydfixierung, frische Formaldehydfixierung, Beginn der Hautpräparation
- Spenderkörper ID 2-15, Einfluss der vorhergegangenen Präparation, bereits länger in Präparation
- Spenderkörper ID 18-15, Einfluss der vorhergegangenen Präparation, bereits länger in Präparation

Die jeweiligen Messungen erfolgten als personengebundene 15-Minuten Kurzzeitmessungen.

Um eine Vergleichbarkeit der Methoden herbeizuführen, wurden Spenderkörper jeweils mit den verschiedenen ausgearbeiteten Methoden gemessen.

Die Messungen fanden im Präparationssaal West statt.

Raumlufttechnischen Bedingungen bei der Messung waren:

- Raumtemperatur 17°C bis 18°C
- Relative Feuchte 50-55 %r.F.
- Fenster geschlossen
- Lüftung: ca. 12.500 m³/h, Einregulierung mit leichtem Unterdruck

Vgl. hierzu Abschnitt 1.6.

Halle ohne zusätzliche Systeme, Nervenpräparation

Tisch	Spender ID	FA-Fixierung	Probe	Ort / Person	Formaldehyd [mg/m ³]
2	26-16	2.4 %	9	Frau C	1.1
2	26-16	2.4 %	10	Herr K	2.6
Tischabweichung (kleinster / größter Messwert)			136 %	Mittelwert	1.85

Mit Axialventilator, Hautpräparation

Tisch	Spender ID	FA-Fixierung	Probe	Ort / Person	Formaldehyd [mg/m ³]
1	26-16	2.4 %	5	Frau C	1.4
1	26-16	2.4 %	6	Herr K	1.7
Tischabweichung (kleinster / größter Messwert)			21 %	Mittelwert	1.55

**Mit Reinraumzelt, Hautpräparation
und subcutanes Fettgewebe**

Tisch	Spender ID	FA-Fixierung	Probe	Ort / Person	Formaldehyd [mg/m ³]
	26-16	2.4 %	21	Frau C	0.87
	26-16	2.4 %	22	Frau P	1.2
Tischabweichung (kleinster / größter Messwert)			38 %	Mittelwert	1.04

Mit Düsenblasanlage, Hautöffnung am Rücken

Tisch	Spender ID	FA-Fixierung	Probe	Ort / Person	Formaldehyd [mg/m ³]
1	26-16	2.4 %	1	Frau C	0.89
1	26-16	2.4 %	2	Herr K	0.85
Tischabweichung (kleinster / größter Messwert)			5 %	Mittelwert	0.87

Tabelle 5: Formaldehydmessung Körper 26-16 vom 31.08.2016

Vergleicht man das Methodenergebnis, kann festgestellt werden:

- Ohne **zusätzliche Maßnahmen** wurde ein mittlerer Formaldehydwert von 1,85 mg/m³ ermittelt.
- Mit Einsatz des **Axialventilators** konnte der Formaldehydwert in der persönlichen Atemluft um **16 %** entsprechend -0,3 mg/m³ verbessert werden.
- Mit Einsatz des **Reinraumzelts** konnte der Formaldehydwert in der persönlichen Atemluft um **44 %** entsprechend -0,81 mg/m³ verbessert werden.
- Mit Einsatz der **Düsenblasanlage** konnte der Formaldehydwert in der persönlichen Atemluft um **53 %** entsprechend -0,98 mg/m³ verbessert werden.

Bei Betrachtung der Einzelmesswerte fällt der große Unterschied zwischen den Personen auf.

Bei gleichen Tätigkeiten am gleichen Spenderkörper sollten die Ergebnisse der am Tisch arbeitenden Personen ähnlich sein. Eventuell liegt hier eine Abhängigkeit zum Arbeitsverhalten der einzelnen Personen vor. Hiermit ist hauptsächlich der Einfluss von nach vorn gebeugtem Arbeiten und Abstand der am Präparationstisch stehenden Personen zum Spenderkörper gemeint. Mit dem großen Messwertunterschied wird aber auch deutlich, dass es hier noch keine Sicherheit der Methode gibt. Messergebnisse können am gleichen Tisch, bei gleichen Spenderkörpern, bei vermutet gleicher Formaldehydemission offensichtlich sehr unterschiedlich ausfallen.

Durch die gemachten technischen Ergänzungen des Hallenlüftungssystems haben sich die Werteunterschiede zwischen den einzelnen Personen deutlich verringert. Liegt ohne zusätzliche Systeme ein Unterschied von etwa 136 % zwischen den Messwerten, geht dieser beim Reinraumzelt auf 38 %, beim Axialventilator auf 21 % und bei der Düsenblasanlage auf 5 % zurück. Dies kann als weiterer positiver Effekt der Düsenblasanlage gewertet werden.

Halle ohne zusätzliche Systeme, Nervenpräparation

Tisch	Spender ID	FA-Fixierung	Probe	Ort / Person	Formaldehyd [mg/m ³]
2	3-16	3.4 %	3	Frau P	3.00
2	3-16	3.4 %	4	Frau B-V	5.90
Tischabweichung (kleinster / größter Messwert)			97 %	Mittelwert	4.45

Mit Axialventilator, Hautpräparation

Tisch	Spender ID	FA-Fixierung	Probe	Ort / Person	Formaldehyd [mg/m ³]
2	3-16	3.4 %	7	Frau P	1.9
2	3-16	3.4 %	8	Frau B-V	1.1

Tischabweichung (kleinster / größter Messwert)	73 %	Mittelwert	1.5
--	------	------------	-----

**Mit Reinraumzelt, Hautpräparation
und subcutanes Fettgewebe**

Tisch	Spender ID	FA-Fixierung	Probe	Ort / Person	Formaldehyd [mg/m³]
	3-16	3.4 %	23	Frau P	1.1
	3-16	3.4 %	24	Frau B-V	2.0
Tischabweichung (kleinster / größter Messwert)			82 %	Mittelwert	1.55

Mit Düsenblasanlage, Hautöffnung am Rücken

Tisch	Spender ID	FA-Fixierung	Probe	Ort / Person	Formaldehyd [mg/m³]
1	3-16	3.4 %	11	Frau P	1.1
1	3-16	3.4 %	12	Frau B-V	1.2
Tischabweichung (kleinster / größter Messwert)			9 %	Mittelwert	1.15

Tabelle 6: Formaldehydmessung Körper 3-16 vom 31.08.2016

- Ohne **zusätzliche Maßnahmen** wurde ein mittlerer Formaldehydwert von 4,45 mg/m³ ermittelt.
- Mit Einsatz des **Axialventilators** konnte der Formaldehydwert in der persönlichen Atemluft um **66 %** entsprechend -2,95 mg/m³ verbessert werden.
- Mit Einsatz des **Reinraumzelts** konnte der Formaldehydwert in der persönlichen Atemluft um **65 %** entsprechend -2,9 mg/m³ verbessert werden.
- Mit Einsatz der **Düsenblasanlage** konnte der Formaldehydwert in der persönlichen Atemluft um **74 %** entsprechend -3,3 mg/m³ verbessert werden.

Auch hier zeigte sich bei Einsatz der Düsenblasanlage die größte Reduktion sowie eine sehr starke Angleichung der Messwerte untereinander. Beträgt der Unterschied ohne weitere Maßnahmen 97 %, liegt dieser beim Querstromventilator schon bei 73 %, beim Reinraumzelt bei 82 % und bei der Düsenblasanlage bei 9 %.

Halle ohne zusätzliche Systeme, Nervenpräparation

Tisch	Spender ID	FA-Fixierung	Probe	Ort / Person	Formaldehyd [mg/m³]
2	2-15	3.4 %	13	Frau C	0.55

2	2-15	3.4 %	14	Herr K	0.75
Tischabweichung (kleinster / größter Messwert)			36 %	Mittelwert	0.65

Mit Düsenblasanlage, Muskelpräparation

Tisch	Spender ID	FA-Fixierung	Probe	Ort / Person	Formaldehyd [mg/m³]
1	2-15	3.4 %	17	Frau C	0.25
1	2-15	3.4 %	18	Herr K	0.26
Tischabweichung (kleinster / größter Messwert)			4 %	Mittelwert	0.26

Tabelle 7: Formaldehydmessung Probe ID 2-15 vom 31.08.2016

Ohne **zusätzliche Maßnahmen** wurde ein mittlerer Formaldehydwert von 0,65 mg/m³ ermittelt.

Mit **Einsatz der Düsenblasanlage** konnte der Formaldehydwert **60 %** entsprechend - 0,39 mg/m³ gesenkt werden. Die Messwertabweichung untereinander ging auf 4 % zurück.

Halle ohne zusätzliche Systeme, Muskelpräparation

Tisch	Spender ID	FA-Fixierung	Probe	Ort / Person	Formaldehyd [mg/m³]
2	18-15	3.4 %	19	Frau P	0.85
2	18-15	3.4 %	20	Frau B-V	1.2
Tischabweichung (kleinster / größter Messwert)			41 %	Mittelwert	1.03

Mit Düsenblasanlage, Muskelpräparation

Tisch	Spender ID	FA-Fixierung	Probe	Ort / Person	Formaldehyd [mg/m³]
1	18-15	3.4 %	15	Frau P	0.38
1	18-15	3.4 %	16	Frau B-V	0.36
Tischabweichung (kleinster / größter Messwert)			6 %	Mittelwert	0.37

Tabelle 8: Formaldehydmessung Probe ID 18-15 vom 31.08.2016

Ohne **zusätzliche Maßnahmen** wurde ein mittlerer Formaldehydwert von $1,03 \text{ mg/m}^3$ ermittelt.

Mit **Einsatz der Düsenblasanlage** konnte der Formaldehydwert um 64 % entsprechend $-0,66 \text{ mg/m}^3$ gesenkt werden. Die Messwertabweichung untereinander ging von 41 % auf 6 % zurück

Hinsichtlich der Formaldehydfixierungsmenge ist zwischen den Spenderkörpern 26-16 mit 2,4 % Formaldehydfixierung und Spenderkörper 3-16 mit 3,4 % Fixierung ein deutlicher Unterschied der Messwerte im Atemluftbereich zu erkennen. Vergleicht man diese beiden Körper, ist das Messergebnis des niedriger fixierten Körpers immer kleiner. Der Unterschied nimmt jedoch bei Einsatz von Axialventilator, Reinraumzelt und Düsenblaseinrichtung immer mehr ab. Dies gilt vom Grundsatz her auch für die Spenderkörper 2-15 und 18-15. Hier liegt die Formaldehydemission jedoch grundsätzlich niedriger.

Vorteile und Nachteile der einzelnen Systeme:

Der Axialventilator wurde seitens der Nutzer aufgrund starker Zugluftbeschwerden und Kälteempfinden nicht akzeptiert. Auch ist die erhöhte Unfallgefahr zu sehen.

Das Reinraumzelt wurde aufgrund von Nutzerempfinden, wie Abgeschlossenheit, höhere Temperatur, Enge, Schallentwicklung sowie großer Platzbedarf in der Halle nicht positiv bewertet.

Mit den oben dargestellten messtechnischen Vergleichen ist eine ähnliche Wertungsreihenfolge festzustellen. Die Systeme werden nachfolgend in aufsteigender Wertung dargestellt:

- Halle ohne zusätzliche Maßnahmen: ist immer schlechter als mit zusätzlichen Systemvarianten.
- Axialventilator am Tisch: deutliche Verbesserung der Formaldehydwerte in der Atemluft, aber nur mittlere Ergebnisse in Bezug auf Unterschiede der einzelnen Messwerte.
- Reinraumzelt: meist ähnliche oder bessere Messwerte als der Axialventilator, jedoch geringere Messwertunterschiede innerhalb einer Messung.
- Düsenblasanlage: Diese Anlage hat in den meisten Vergleichsmessungen die höchste Reduktion des Formaldehyds in der persönlichen Atemluft erreicht. Die ermittelten Minderungen lagen zwischen 53 % und 74 %.

Zusätzlich konnte festgestellt werden, dass die Düsenblasanlage zu einer deutlichen Annäherung der Messergebnisse der am Tisch tätigen Personen führt. Dies ergibt eine zusätzliche Methodensicherheit.

Aufgrund des guten Abschneidens der Düsenblasanlage wurde als Nächstes ein ganzer Präparationssaal mit dem Düsenblassystem ausgerüstet (Abbildung 21).

Es werden je drei Düsen mittig über dem Tisch angebracht. Der Abstand zwischen Tischkante und Düse wird mit drei Meter beibehalten.

Hiermit wird der Schritt von einem mit Düsenblasanlage ausgerüsteten Tisch, zu einem gesamten Präparationssaal mit Düsenblasanlage gemacht.

Ziel zukünftiger Messungen ist, die Wirkung der Düsenblasanlage und deren Auswirkungen auf den Raummesswert weiter zu prüfen.

Hierbei kommen wechselnde Raumbelastungen und Raumlasten zum Einsatz.

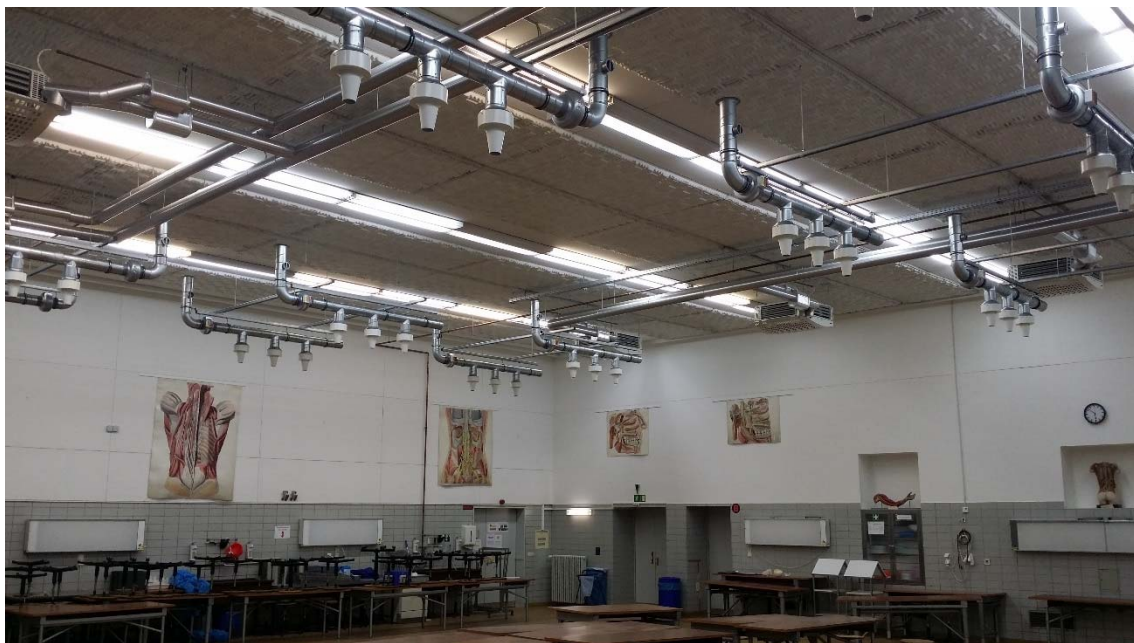


Abbildung 21: Präparationssaal Ost mit Düsenblaseeinrichtungen

3.7 Weitere Messungen im Präparationssaal Ost, alle Tische mit Düsenblasanlage sowie zusätzlich mit Einsatz von Infutrace™ 08.12.2016

Wie die vorlaufende Messung gezeigt hat (siehe Abschnitt 3.6.1), kann mittels der Düsenblasanlage Formaldehyd in der persönlichen Atemluft um etwa 53 % bis 74 % reduziert werden. Zur Sicherstellung der Grenzwerte in Bezug auf den AGW sowie den Stoffindex reicht dies als alleinige Maßnahme nicht aus.

In weiteren Messungen sollte die Düsenwirkung weiter untermauert werden. Gleichzeitig wurde begonnen einige der Spenderkörper mit Infutrace zu behandeln sowie vor dem Präparationskurs mit Infutrace abzusprühen.

Die Formaldehydmessungen erfolgten nach dem bewährten Prinzip sowohl in der Raumluft an ein bis zwei Stellen zur Erfassung der Belastung in der Sektionshalle und im Bereich der persönlichen Atemluft der am Präparationstisch arbeitenden Studenten (personenbezogene Messungen), sowie parallel eine statische Messung am Tisch. Die Messung am Sektionstisch wird wie bisher über zwei Kursteilnehmer realisiert. Weiterhin wird ein am Tisch, über dem Spenderkörper in Höhe der Atemorgane einer stehenden Person, zusätzlich ein Stativ als Messstellenhalter angebracht (Abbildung 22). Über das Stativ ist es möglich, eine Messung ohne gebückte Arbeitshaltung zu erzeugen. Mit Hilfe dieser Messung soll ein Vergleich zur über das Präparat gebeugten Körperhaltung während der Präparation möglich werden.

Raumlufttechnische Bedingungen bei der Messung waren:

- Raumtemperatur ca. 17°C bis 18°C
- Relative Feuchte 30-35 %r.F.
- Fenster geschlossen
- Lüftung: ca. 12.500 m³/h, Einregulierung mit leichtem Unterdruck



Abbildung 22: Probennahme Person und Stativ

3.7.1 Messergebnisse vom 08.12.2016 mit Bezug zum Arbeitsplatzgrenzwert:

Messergebnisse vgl. (ARGUK Umweltlabor GmbH (2016))

Tisch	Spender ID	FA-Fixierung	Labornr. 794016-	Ort / Person	Formaldehyd [mg/m³]	AGW 0,370 [mg/m³]	Spitzenbegrenzung 2 (I)
24	20-15	3 %	10	stationär	0.18	eingehalten	eingehalten
24	20-15	3 %	11	Frau S	0.17	eingehalten	eingehalten
24	20-15	3 %	12	Frau D	0.18	eingehalten	eingehalten
Tischbewertung				Mittelwert	0.18	eingehalten	eingehalten

28	24-15	3 %	16	stationär	0.29	eingehalten	eingehalten
28	24-15	3 %	17	Frau S	0.28	eingehalten	eingehalten
28	24-15	3 %	18	Frau D	0.28	eingehalten	eingehalten
Tischbewertung				Mittelwert	0.28	eingehalten	eingehalten

(Info: vorher auf Tisch 28 aufgelegt)

23	24-15	3 %	20	stationär	0.24	eingehalten	eingehalten
23	24-15	3 %	25	Frau S	0.62	überschritten	eingehalten
23	24-15	3 %	26	Frau D	0.35	eingehalten	eingehalten
Tischbewertung				Mittelwert	0.4	überschritten	eingehalten

28	29-15	3 %	19	stationär	0.16	eingehalten	eingehalten
28	29-15	3 %	23	Herr K	0.22	eingehalten	eingehalten
28	29-15	3 %	24	Frau C	0.16	eingehalten	eingehalten
Tischbewertung				Mittelwert	0.18	eingehalten	eingehalten

19	32-16	1.83 %	5	stationär	0.17	eingehalten	eingehalten
19	32-16	1.83 %	1	Herr K	0.25	eingehalten	eingehalten
19	32-16	1.83 %	2	Frau C	0.24	eingehalten	eingehalten
Tischbewertung				Mittelwert	0.21	eingehalten	eingehalten

27	34-16	3 %	13	stationär	0.27	eingehalten	eingehalten
27	34-16	3 %	14	Herr K	0.20	eingehalten	eingehalten
27	34-16	3 %	15	Frau C	0.21	eingehalten	eingehalten
Tischbewertung				Mittelwert	0.23	eingehalten	eingehalten

23	39-16	2.14 %	7	stationär	0.18	eingehalten	eingehalten
23	39-16	2.14 %	8	Herr K	0.19	eingehalten	eingehalten
23	39-16	2.14 %	9	Frau C	0.43	überschritten	eingehalten
Tischbewertung				Mittelwert	0.27	eingehalten	eingehalten

20	43-16	1.48 %	6	stationär	0.16	eingehalten	eingehalten
20	43-16	1.48 %	3	Frau S	0.15	eingehalten	eingehalten
20	43-16	1.48 %	4	Frau D	0.16	eingehalten	eingehalten
Tischbewertung				Mittelwert	0.16	eingehalten	eingehalten

Raumlufbmessung Halle,
Raummitte

			21	Tisch 19/20	0.23	eingehalten	eingehalten
			22	Tisch 27/28	0.26	eingehalten	eingehalten
Hallenbewertung				Mittelwert	0.25	eingehalten	eingehalten

Tabelle 9: Raumlufbmessungen 08.12.2016, Vergleich zu AGW

Aus den personenbezogenen Kurzzeitmessungen ergaben sich kaum Überschreitungen des Arbeitsplatzgrenzwertes. Fast alle Werte lagen darunter.

Lediglich an Tisch 23 kam es zu einer Überschreitung.

Eine Gegenkontrolle mittels Spenderkörpertausch ID 24-15 von Tisch 28 nach Tisch 23 ergab ebenfalls höhere Werte an Tisch 23. Auch die zweite Überschreitung des Arbeitsplatzgrenzwertes erfolgte an Tisch 23. Hier, bei der Messung von Spenderkörper ID 39-16.

Dies weist auf eine nicht optimale Justierung der Weitwurfdüsen über Tisch 23 hin, welche trotz der Justierung mittels Hitzdrahtanemometer nicht optimal eingestellt wurden. Die abschirmende und spülende Wirkungsweise der Düsenblasanlage kam bei diesem Tisch nicht voll zur Geltung. Eine Nachjustierung der Düsenblasanlage dieses Tisches sowie nötigenfalls ein Abgleich musste zur Qualitätssicherung der Ergebnisse zwingend durchgeführt werden.

Die nötigen Vorgaben für die Einstellung des Systems sind in Abschnitt 5.4.2 des Anhangs verwiesen.

Insgesamt wird anhand dieser Messwerte deutlich, dass mittels einer Nachbehandlung bereits vorhandene Spenderkörper, die mit der bisherigen 3%igen Formaldehydlösung fixiert wurden, eine Einhaltung des Arbeitsplatzgrenzwertes möglich ist.

Der Arbeitsplatzgrenzwert während der Präparation wird durch den Einsatz der Düsen zusammen mit der Anwendung von Infutrace sicher eingehalten.

Auch wird deutlich, dass bei Kombination dieser Systeme kein großer Unterschied zwischen einer Spenderkörperfixierung mit 1,48 %, 1,83 %, 2,14 % oder 3 % Formaldehyd besteht. Eine aufwendige Salzfixierung wie zum Beispiel bei Spender ID 43-16 ist damit unnötig.

Somit kann seitens der Spenderkörpervorbereitung wieder auf die als erprobt und sicher geltende 3% Formaldehydfixierung zurückgegriffen werden und damit die Qualität der Fixierung sowie die Desinfektion der Spenderkörper auf dem gewünschten Niveau sichergestellt werden.

Auch die Messwerte in der Präparationshallenluft liegen mit Bezug auf den Arbeitsplatzgrenzwert noch unter dem Grenzwert. Da bei diesem Versuch nur die Hälfte des Präparationsaals belegt war, muss dieser Wert bei nachfolgenden Messungen erneut kontrolliert werden. Steigt dieser Wert, wird im Verhältnis zur eingebrachten Formaldehydmenge durch die Spenderkörper zu wenig Raumluft ausgetauscht.

In vorlaufenden Untersuchungen wurde festgestellt, dass bei Düseneinsatz die einzelnen Messergebnisunterschiede zwischen den am Präparationstisch stehenden Personen kleiner werden. Dieser, besonders im Hinblick auf die Sicherheit der Methode, als positiv zu nennende Umstand hat sich auch bei dieser Messung bestätigt, siehe Tabelle 10.

Tisch 24

Messung	[mg/m ³]
stationär	0,18
Frau S	0,17
Frau D	0,18
Mittelwert	0,18
Standardabweichung	0,0047

Tisch 27

Messung	[mg/m ³]
stationär	0,27
Frau S	0,20
Frau D	0,21
Mittelwert	0,23
Standardabweichung	0,0309

Tisch 28

Messung	[mg/m ³]
stationär	0,29
Frau S	0,28
Frau D	0,28
Mittelwert	0,28
Standardabweichung	0,0047

Tisch 23

Messung	[mg/m ³]
stationär	0,18
Frau S	0,19
Frau D	0,43
Mittelwert	0,27
Standardabweichung	0,1156

Tisch 23

Messung	[mg/m ³]
stationär	0,24
Frau S	0,62
Frau D	0,35
Mittelwert	0,40
Standardabweichung	0,1597

Tisch 20

Messung	[mg/m ³]
stationär	0,16
Frau S	0,15
Frau D	0,16
Mittelwert	0,16
Standardabweichung	0,0047

Tisch 28

Raum

Messung	[mg/m ³]
stationär	0,16
Frau S	0,22
Frau D	0,16
Mittelwert	0,18
Standardabweichung	0,0283

stationär	0,23
stationär	0,26
Mittelwert	0,25
Standardabweichung	0,0150

Tisch 19

Messung	[mg/m ³]
stationär	0,17
Frau S	0,25
Frau D	0,24
Mittelwert	0,22
Standardabweichung	0,0356

Tabelle 10: Mittelwert und Standardabweichung Tische

Betrachtet man die Messergebnisse über alle Tische, ergibt sich ein Mittelwert von 0,24 mg/m³ sowie eine Standardabweichung von 0,102.

Da Tisch 23 auf Grund der suboptimalen Einstellung der Düsen ein inkorrekt er Wert ermittelt wurde, ergeben sich ohne diesen Tisch folgende Ergebnisse: Mittelwert 0,21 mg/m³ und als Standardabweichung 0,048.

Es kann als weiteres Ergebnis dieser Messung festgehalten werden, dass die Arbeitsplatzgrenzwerte bei ordnungsgemäß justierter Düse und dem Einsatz von Infutrace eingehalten werden können. Durch den Düseneinsatz scheint ein Teil der individuellen Arbeitshaltung ausgeglichen zu werden. Eine etwas gebückte Haltung ist gegenüber der geraden Haltung in Bezug auf das Messergebnis nicht mehr so unterschiedlich. Dies erbringt einen zusätzlichen, deutlichen Sicherheitsgewinn.

Im Vergleich zu den Messergebnissen vom 31.08.2016 ist aufgrund des Einsatzes von Infutrace eine weitere deutliche Verbesserung festgestellt worden.

Eine Schadstoffreduktion in der Atemluft mittels Düse konnte in der Messung vom 31.08.2016 mit 53 % bis 74 % ermittelt werden. Eine ähnliche Größenordnung ist offensichtlich mit der Infutrace Vor- und Zwischenbehandlung möglich.

3.7.2 Betrachtung der Messung 08.12.2016 mit Bezug zum 25 %igen Stoffindex

Tisch	Spender ID	FA-Fixierung	Labornr. 794016-	Ort / Person	Formaldehyd [mg/m³]	F	Stoff-index
24	20-15	3 %	10	stationär	0.18	0,188 / 0,375	0,09 / 0,18
24	20-15	3 %	11	Frau S	0.17	0,188 / 0,375	0,09 / 0,17
24	20-15	3 %	12	Frau D	0.18	0,188 / 0,375	0,09 / 0,18
Tischbewertung				Mittelwert	0.18	0,188 / 0,375	0,09 / 0,18

28	24-15	3 %	16	stationär	0.29	0,188 / 0,375	0,14 / 0,29
28	24-15	3 %	17	Frau S	0.28	0,188 / 0,375	0,14 / 0,28
28	24-15	3 %	18	Frau D	0.28	0,188 / 0,375	0,14 / 0,28
Tischbewertung				Mittelwert	0.28	0,188 / 0,375	0,14 / 0,28

(Info: vorher auf
Tisch 28 aufgelegt)

23	24-15	3 %	20	stationär	0.24	0,188 / 0,375	0,121 / 0,243
23	24-15	3 %	25	Frau S	0.62	0,188 / 0,375	0,315 / 0,628
23	24-15	3 %	26	Frau D	0.35	0,188 / 0,375	0,177 / 0,355
Tischbewertung				Mittelwert	0.4	0,188 / 0,375	0,203 / 0,405

28	29-15	3 %	19	stationär	0.16	0,188 / 0,375	0,081 / 0,162
28	29-15	3 %	23	Herr K	0.22	0,188 / 0,375	0,111 / 0,223
28	29-15	3 %	24	Frau C	0.16	0,188 / 0,375	0,081 / 0,162
Tischbewertung				Mittelwert	0.18	0,188 / 0,375	0,091 / 0,182

19	32-16	1.83 %	5	stationär	0.17	0,188 / 0,375	0,086 / 0,172
19	32-16	1.83 %	1	Herr K	0.25	0,188 / 0,375	0,127 / 0,253
19	32-16	1.83 %	2	Frau C	0.24	0,188 / 0,375	0,121 / 0,243
Tischbewertung				Mittelwert	0.21	0,188 / 0,375	0,107 / 0,213

27	34-16	3 %	13	stationär	0.27	0,188 / 0,375	0,137 / 0,274
----	-------	-----	----	-----------	------	---------------	---------------

27	34-16	3 %	14	Herr K	0.2	0,188 / 0,375	0,102 / 0,203
27	34-16	3 %	15	Frau C	0.21	0,188 / 0,375	0,107 / 0,213
Tischbewertung				Mittelwert	0.23	0,188 / 0,375	0,117 / 0,233

23	39-16	2.14 %	7	stationär	0.18	0,188 / 0,375	0,091 / 0,182
23	39-16	2.14 %	8	Herr K	0.19	0,188 / 0,375	0,097 / 0,193
23	39-16	2.14 %	9	Frau C	0.43	0,188 / 0,375	0,218 / 0,436
Tischbewertung				Mittelwert	0.27	0,188 / 0,375	0,137 / 0,273

20	43-16	1.48 %	6	stationär	0.16	0,188 / 0,375	0,081 / 0,162
20	43-16	1.48 %	3	Frau S	0.15	0,188 / 0,375	0,076 / 0,152
20	43-16	1.48 %	4	Frau D	0.16	0,188 / 0,375	0,081 / 0,162
Tischbewertung				Mittelwert	0.16	0,188 / 0,375	0,081 / 0,162

Raumluftmessung
Halle, Raummitte

			21	Tisch 19/20	0.23	0,188 / 0,375	0,117 / 0,233
			22	Tisch 27/28	0.26	0,188 / 0,375	0,132 / 0,263
Hallenbewertung				Mittelwert	0.25	0,188 / 0,375	0,127 / 0,253

Tabelle 11: Raumluftmessungen vom 08.12.2016, Vergleich der einzelnen Stoffindices. Überschreitungen sind mit rot markiert.

In Tabelle 11 wurden zur besseren Übersicht wurden die Stoffindexwerte mit **grünen** oder **roten** Markierungen versehen.

Erkennbar sind die Grenzwertüberschreitungen an Tisch 23. Hier wurde der Downflow der Düsen nach der Messung nachjustiert. Dies sollte bei kommenden Messungen zu besseren Ergebnissen führen.

Wird bei der nachfolgenden Betrachtung Tisch 23 aufgrund oben genannter Tatsache nicht berücksichtigt, ergeben sich durchweg positive Ergebnisse.

Bei Spenderkörpern mit einer Formaldehydfixierung von 1,48 und 1,83 % ergaben sich auch unter Berücksichtigung des Stoffindex keine Grenzwertüberschreitungen.

In der Gruppe der mit 2,14 % und 3 % Formaldehyd fixierten Körperspender ergab sich ein differenzierteres Ergebnis. (Auch bei dieser Betrachtung wird Tisch 23 außer Acht gelassen)

Alle auf Studenten bezogenen Stoffindexwerte liegen unter dem Grenzwert.

Bei dem auf Lehrkräfte bezogenen Grenzwert des 25 %igen Stoffindex ergaben sich Überschreitungen bei 24-15 und bei 34-16 leichte Überschreitung an einer Messstelle.

Der leicht überschrittene Stoffindex einer Raummessung kann nicht schlüssig geklärt werden. Eventuell liegt ein Messfehler vor. Mit Bezug zu Abschnitt 2.1 sollte der Raumluftwechsel ausreichend sein, um die Schadstoffe der Präparationshalle wirkungsvoll durch Verdünnung abzutransportieren. Hierauf muss bei nachfolgenden Messungen nochmals geachtet werden.

Als weiteres Ergebnis kann formuliert werden, dass, wie in vorhergehenden Abschnitt 3.6.1 bereits festgestellt wurde, bei gleichzeitigem Einsatz der Düsenblasanlage sowie dem optimierten Einsatz von Infutrace die Arbeitsplatzgrenzwerte von Formaldehyd sicher eingehalten werden können. Lediglich bei Bezug zum Stoffindex müssen noch weitere Optimierungen erfolgen. Dieser wird für Studenten bereits gut eingehalten. Bei der Expositionsdauer von Lehrkräften kann zurzeit noch nicht das gewünschte Ergebnis erreicht werden.

Mit dieser Messung vom 08.12.2016 konnte hinsichtlich des Arbeitsplatzgrenzwertes ein gutes Ergebnis erzielt werden. Mit Ausnahme von Tisch 23 wurde bei allen Messungen der Arbeitsplatzgrenzwert für Formaldehyd unterschritten. Hinsichtlich des Stoffindex konnte ein gemischtes Ergebnis ermittelt werden.

3.8 Weitere Messungen im Präparationssaal Ost, alle Tische mit Düsenblasanlage sowie zusätzlich mit weiter optimiertem Einsatz von Infutrace 16.02.2017

Messergebnisse vgl. (ARGUK Umweltlabor GmbH (2017))

Mit optimiertem Einsatz von Infutrace soll in nachfolgender Messung auch die Einhaltung des Stoffindex erreicht werden.

Um die Wirkung der Düsenblasanlage zu überprüfen, wurden bei der jetzigen Messung einige Spenderkörper nacheinander einmal mit aktivierter Düse und einmal ohne Düsenunterstützung gemessen.

Zusätzlich wurden Spenderkörper mit verschiedenen Vorbehandlungen, jedoch ohne Infutracevorbehandlung gemessen (ID 3-17 mit 1.85 % Formaldehyd, ID 4-17 mit 1.48 % gesättigte Salzlösung).

Raumlufttechnischen Bedingungen bei der Messung waren:

- Raumtemperatur ca. 17°C bis 18°C
- Relative Feuchte 30 %-35 %r.F.
- Fenster geschlossen
- Lüftung: ca. 12.500 m³/h, Einregulierung mit leichtem Unterdruck

Es wurden wie im vorherigen Versuch jeweils eine Stativmessung am Tisch sowie zwei Messungen an Personen pro Tisch vorgenommen. Weiterhin erfolgten Messungen der Präparationshallenluft.

3.8.1 Messergebnisse mit Bezug zum Arbeitsplatzgrenzwert

Tisch	Spender ID	FA-Fixierung m. Infutracebehandlung	Labornr. 820117	Ort / Person	Formaldehyd [mg/m³]	AGW 0,370 [mg/m³]	Spitzenbegrenzung 2 (I)
27	20-15	3 %	12	stationär	0.052	eingehalten	eingehalten
27	20-15	3 %	13	Frau P	0.055	eingehalten	eingehalten
27	20-15	3 %	14	Frau M	0.056	eingehalten	eingehalten
Tischbewertung		Stadadabw	0.0017	Mittelwert	0.054	eingehalten	eingehalten

23	24-15	3 %	9	stationär	0.067	eingehalten	eingehalten
23	24-15	3 %	10	Frau S	0.049	eingehalten	eingehalten
23	24-15	3 %	11	Frau P	0.05	eingehalten	eingehalten
Tischbewertung		Stadadabw	0.0083	Mittelwert	0.055	eingehalten	eingehalten

28	31-15	3 %	3	stationär	0.067	eingehalten	eingehalten
28	31-15	3 %	4	Frau P	0.083	eingehalten	eingehalten
28	31-15	3 %	5	Frau M	0.066	eingehalten	eingehalten
Tischbewertung		Stadadabw	0.0078	Mittelwert	0.072	eingehalten	eingehalten

24	4-16	3 %	6	stationär	0.044	eingehalten	eingehalten
24	4-16	3 %	7	Frau S	0.043	eingehalten	eingehalten
24	4-16	3 %	8	Frau P	0.044	eingehalten	eingehalten
Tischbewertung		Stadadabw	0.0005	Mittelwert	0.044	eingehalten	eingehalten

Anmerkung: Spenderkörpervorbereitung Tisch 22 ohne Infutrace

22	5-16	3 %	15	stationär	0.15	eingehalten	eingehalten
22	5-16	3 %	16	Frau S	0.14	eingehalten	eingehalten

22	5-16	3 %	17	Frau P	0.15	eingehal- ten	eingehal- ten
Tischbewertung Stadadabw			0.0047	Mittelwert	0.15	eingehal- ten	eingehal- ten

Anmerkung: Spenderkörpervorbereitung Tisch 26 ohne In-
futrace

26	3-17	1.8 %	18	stationär	0.18	eingehal- ten	eingehal- ten
26	3-17	1.8 %	19	Frau P	0.15	eingehal- ten	eingehal- ten
26	3-17	1.8 %	20	Frau M	0.17	eingehal- ten	eingehal- ten
Tischbewertung Stadadabw			0.0125	Mittelwert	0.17	eingehal- ten	eingehal- ten

Anmerkung: Spenderkörpervorbereitung Tisch 25 ohne In-
futrace

25	4-17	1.5 %	21	stationär	0.31	eingehal- ten	eingehal- ten
25	4-17	1.5 %	22	Frau S	0.27	eingehal- ten	eingehal- ten
25	4-17	1.5 %	23	Frau P	0.31	eingehal- ten	eingehal- ten
Tischbewertung Stadadabw			0.0189	Mittelwert	0.30	eingehal- ten	eingehal- ten

Anmerkung: Spenderkörpervorbereitung Tisch 28 mit Infutrace, jedoch Deckendüse abgeschal-
tet

28	31-15	3 %	27	stationär	0.15	eingehal- ten	eingehal- ten
28	31-15	3 %	28	Frau P	0.25	eingehal- ten	eingehal- ten
28	31-15	3 %	29	Frau M	0.29	eingehal- ten	eingehal- ten
Tischbewertung Stadadabw			0.0589	Mittelwert	0.23	eingehal- ten	eingehal- ten

Anmerkung: Spenderkörpervorbereitung Tisch 22 ohne Infutrace, Deckendüse abgeschaltet

22	5-16	3 %	24	stationär	0.15	eingehal- ten	eingehal- ten
22	5-16	3 %	25	Frau S	0.55	überschrit- ten	eingehal- ten
22	5-16	3 %	26	Frau P	0.24	eingehal- ten	eingehal- ten
Tischbewertung Stadadabw			0.1713	Mittelwert	0.31	eingehal- ten	eingehal- ten

Raumluftmessung Halle, Raummitte

21.22.25.26	o. Infutr.				0.11	eingehal- ten	eingehal- ten
23.24.27.28	m. Infutr.				0.065	eingehal- ten	eingehal- ten
Hallenbewertung Stan- dardabw			0.0225	Mittelwert	0.088	eingehal- ten	eingehal- ten

Tabelle 12: : Raumlufmessungen 16.02.2017, Vergleich zu AGW

Der mit 3% Formaldehyd fixierte und 20 % Infutrace vorgehandelte Spenderkörper ID 31-15 wurde in dieser Messung einmal mit und einmal ohne die Unterstützung der Deckendüsenblasanlage. In Tabelle 12 wird gezeigt, dass sich bei parallelem Einsatz beider Systeme der bisher größte beobachtbare Abstand zum AGW einstellt. Der Mittelwert der Messungen wird hier 0,072 mg/m³ ermittelt. Ohne Düseneinsatz ergibt sich ein Mittelwert für das Präparat ID 31-15 von 0,23 mg/m³. Dies entspricht einer Reduktion durch die Deckendüsen von etwa 69 %. Auch wenn der AGW eingehalten wird, wird mit einem Messwert der Stoffindex überschritten.

Ein ähnliches Bild ergibt sich bei ID 05-16. Hier wurde eine vergleichende Messung mit und ohne Deckendüsen eines nicht mit Infutrace vorbehandelten Präparates durchgeführt. Auch hier zeigte sich, dass der AGW und der Stoffindex nur mit Deckendüse einzuhalten sind. Ohne Düse ergab sich eine Einzelmessung bei Frau S. von 0,55 mg/m³ – der Mittelwert betrug 0,31 mg/m³ im Vergleich zu dem Mittelwert von 0,15 mg/m³ bei Einsatz der Deckendüse. Dies entspricht einer Reduktion durch die Deckendüsen von etwa 52 %.

Tisch 27	3 %, I, D
Messung	[mg/m³]
Stationär	0,052
Frau Pilger	0,055
Frau Menzel	0,056
Mittelwert	0,05
Standardabweichung	0,0017

Tisch 26	1,85, D
Messung	[mg/m³]
stationär	0,18
Frau Pilger	0,15
Frau Menzel	0,17
Mittelwert	0,17
Standardabweichung	0,0125

Tisch 23	3 %, I, D
Messung	[mg/m³]
stationär	0,067
Frau Schubkegel	0,049
Frau Paddenberg	0,05
Mittelwert	0,06
Standardabweichung	0,0083

Tisch 25	1,5 %, D
Messung	[mg/m³]
stationär	0,31
Frau Schubkegel	0,27
Frau Paddenberg	0,31
Mittelwert	0,30
Standardabweichung	0,0189

Tisch 28	3 %, I, D
Messung	[mg/m³]
stationär	0,067
Frau Pilger	0,083
Frau Menzel	0,066
Mittelwert	0,07
Standardabweichung	0,0078

Tisch 28	3 %, I
Messung	[mg/m³]
stationär	0,15
Frau Pilger	0,25
Frau Menzel	0,29
Mittelwert	0,23
Standardabweichung	0,0589

Tisch 24 3 %, I, D	
Messung	[mg/m³]
stationär	0,044
Frau Schubkegel	0,043
Frau Paddenberg	0,044
Mittelwert	0,04
Standardabweichung	0,0005

Tisch 22 3 %, D	
Messung	[mg/m³]
stationär	0,15
Frau Pilger	0,55
Frau Menzel	0,24
Mittelwert	0,32
Standardabweichung	0,1713

Tisch 22 3 %, D	
Messung	[mg/m³]
stationär	0,15
Frau Schubkegel	0,14
Frau Paddenberg	0,15
Mittelwert	0,15
Standardabweichung	0,0047

Tabelle 13: Mittelwerte und Standardabweichungen der am 16.02.2017 gemessenen Tische

In Tabelle 13 sind aufgrund besserer Übersicht, je die Kürzel Formaldehyd als Prozentzahl, D = Düse oder I= Infutrace eingetragen.

Betrachtet man die zusammenhängenden Gruppen:

- Tisch mit Düsenblasanlage, Spenderkörper mit Infutrace, Fixierung mit Formaldehyd, hier Tisch 27, 23, 28 und 24
- Tisch mit Düsenblasanlage, Fixierung mit Formaldehyd, hier Tisch 22, 26 und 25
- Tisch Fixierung mit Formaldehyd, Spenderkörper mit Infutrace, hier Tisch 28 und Spenderkörper ohne Infutrace hier Tisch 22

können als Mittelwert über die

erste Gruppe 0,06 mg/m³ mit einer Standardabweichung von 0,0122

zweite Gruppe 0,20 mg/m³ mit einer Standardabweichung von 0,0719

dritte Gruppe 0,27 mg/m³ mit einer Standardabweichung von 0,045

ermittelt werden.

Es wird erkennbar, dass sich in der ersten Gruppe unter Benutzung von Infutrace und der Düsenblasanlage sehr kleine Mittelwerte mit einer ebenfalls entsprechend kleinen Standardabweichung ergeben. In der zweiten Gruppe, bei Einsatz der Düsenblasanlage ohne Infutrace, sind die Mittelwerte etwa um den Faktor drei höher. In der dritten Gruppe, Einsatz ohne Düsenblasanlage jedoch mit Infutrace, liegt der Mittelwert um den Faktor 4,5 höher.

Die erste Gruppe, mit Einsatz von Infutrace sowie der Düsenblasanlage hat die AGW deutlich unterschritten.

Die zweite Gruppe, mit Einsatz der Düsenblasanlagen, hat die Werte unterschritten

Die dritte Gruppe, mit Einsatz von Infutrace, hat die Grenzwerte teilweise überschritten.

Um die Qualität und die Gleichförmigkeit der Messergebnisse zu verdeutlichen, wird die Standardabweichung zusätzlich als Prozentsatz vom Mittelwert dargestellt.

erste Gruppe	0,06 mg/m ³ mit einer Standardabweichung von 0,0122, mit ca. 22 % vom Mittelwert
zweite Gruppe	0,20 mg/m ³ mit einer Standardabweichung von 0,0719, mit ca. 35 % vom Mittelwert
dritte Gruppe	0,27 mg/m ³ mit einer Standardabweichung von 0,14, mit ca. 54 % vom Mittelwert

Es ist erkennbar, dass mit dem kombinierten Einsatz von Düsenblasanlage und optimierter Spenderkörpervorbereitung mittels Infutrace™, ein großer Abstand zum AGW eingehalten werden kann; dies zusätzlich mit einer kleinen Standardabweichung, hier 22 % vom Mittelwert. Somit handelt es sich hier um ein sicheres Kombiverfahren, das ohne allzu großen Mehraufwand überall einsetzbar ist.

3.8.2 Betrachtung der Messung 16.02.2017 mit Bezug zum Stoffindex

Tisch	Spender ID	FA-Fixierung m. Infutrace- behandlung	Labornr. 820117	Ort / Per- son	Formaldehyd [mg/m ³]	F	Stoff- index
27	20-15	3 %	12	stationär	0.052	0,188 / 0,375	0,03 / 0,05
27	20-15	3 %	13	Frau P	0.055	0,188 / 0,375	0,02 / 0,06
27	20-15	3 %	14	Frau M	0.056	0,188 / 0,375	0,03 / 0,06
Tischbewertung		Standardabw	0.0017	Mittelwert	0.054	0,188 / 0,375	0,03 / 0,05

23	24-15	3 %	9	stationär	0.067	0,188 / 0,375	0,03 / 0,07
23	24-15	3 %	10	Frau S	0.049	0,188 / 0,375	0,02 / 0,05
23	24-15	3 %	11	Frau P	0.05	0,188 / 0,375	0,03 / 0,05
Tischbewertung			Standardabw 0.0083	Mittelwert	0.055	0,188 / 0,375	0,03 / 0,06

28	31-15	3 %	3	stationär	0.067	0,188 / 0,375	0,03 / 0,07
28	31-15	3 %	4	Frau P	0.083	0,188 / 0,375	0,04 / 0,08
28	31-15	3 %	5	Frau M	0.066	0,188 / 0,375	0,03 / 0,07
Tischbewertung			Standardabw 0.0078	Mittelwert	0.072	0,188 / 0,375	0,04 / 0,07

24	4-16	3 %	6	stationär	0.044	0,188 / 0,375	0,02 / 0,04
24	4-16	3 %	7	Frau S	0.043	0,188 / 0,375	0,02 / 0,04
24	5-16	3 %	8	Frau P	0.044	0,188 / 0,375	0,02 / 0,04
Tischbewertung			Standardabw 0.0005	Mittelwert	0.044	0,188 / 0,375	0,02 / 0,04

Anmerkung: Spenderkörpervorbereitung Tisch 22 ohne Infutrace

22	5-16	3 %	15	stationär	0.15	0,188 / 0,375	0,08 / 0,15
22	5-16	3 %	16	Frau S	0.14	0,188 / 0,375	0,08 / 0,15
22	5-16	3 %	17	Frau P	0.15	0,188 / 0,375	0,08 / 0,15
Tischbewertung			Standardabw 0.0047	Mittelwert	0.15	0,188 / 0,375	0,08 / 0,15

Anmerkung: Spenderkörpervorbereitung Tisch 26 ohne Infutrace

26	3-17	1.8 %	18	stationär	0.18	0,188 / 0,375	0,09 / 0,18
26	3-17	1.8 %	19	Frau P	0.15	0,188 / 0,375	0,09 / 0,15
26	3-17	1.8 %	20	Frau M	0.17	0,188 / 0,375	0,09 / 0,17
Tischbewertung			Standardabw 0.0125	Mittelwert	0.17	0,188 / 0,375	0,09 / 0,17

Anmerkung: Spenderkörpervorbereitung Tisch 25 ohne Infutrace

25	4-17	1.5 %	21	stationär	0.31	0,188 / 0,375	0,16 / 0,31
25	4-17	1.5 %	22	Frau S	0.27	0,188 / 0,375	0,14 / 0,27
25	4-17	1.5 %	23	Frau P	0.31	0,188 / 0,375	0,16 / 0,34
Tischbewertung			Standardabw 0.0189	Mittelwert	0.30	0,188 / 0,375	0,15 / 0,30

Anmerkung: Spenderkörpervorbereitung Tisch 28 mit Infutrace, jedoch Deckendüse abgeschaltet

28	31-15	3 %	27	stationär	0.15	0,188 / 0,375	0,08 / 0,15
28	31-15	3 %	28	Frau P	0.25	0,188 / 0,375	0,13 / 0,25
28	31-15	3 %	29	Frau M	0.29	0,188 / 0,375	0,15 / 0,29
Tischbewertung			Standardabw 0.0589	Mittelwert	0.23	0,188 / 0,375	0,12 / 0,23

Anmerkung: Spenderkörpervorbereitung Tisch 22 ohne Infutrace, Deckendüse abgeschaltet

22	5-16	3 %	24	stationär	0.15	0,188 / 0,375	0,08 / 0,15
22	5-16	3 %	25	Frau S	0.55	0,188 / 0,375	0,28 / 0,56

22	5-16	3 %	26	Frau P	0.24	0,188 / 0,375	0,12 / 0,24
Tischbewertung			Standardabw 0.1713	Mittelwert	0.31	0,188 / 0,375	0,16 / 0,31

Raumluftrmessung
Halle, Raummitte

21.22.25.26	o. Infutr.				0.11	0,188 / 0,375	0,06 / 0,11
23.24.27.28	m. Infutr.				0.065	0,188 / 0,375	0,03 / 0,07
Hallenbewertung			Standardabw 0.0225	Mittelwert	0.088	0,188 / 0,375	0,04 / 0,09

Tabelle 14: Raumluftrmessungen 16.02.2017, Vergleich zum Stoffindex

Tabelle 14 verdeutlicht mit Bezug der Messwerte zum Arbeitsplatzgrenzwert, dass bei ordnungsgemäßer Verwendung des kombinierten Einsatzes des Deckendüsen-Systems zusammen mit Infutrace sich auch beim Stoffindex keine Überschreitungen ergeben.

Neue Spenderkörper, wie hier die Zugänge 2017 3-17 sowie 4-17, zeigen, dass es bei niedrigeren Formaldehydfixierungen, hier 1,5 % bis 1,85 %, durchaus möglich ist, ohne Infutrace™ mit Deckendüsen-Einsatz die Arbeitsplatzgrenzwerte einzuhalten.

Berücksichtigt man aber den Stoffindex, fehlt der sonst erreichbare große Abstand zum Arbeitsplatzgrenzwert und damit zum Stoffindex.

Der Spenderkörper ID 3-17 (Tisch 26) hält den Stoffindex ein, der Spenderkörper ID 4-17 (Tisch 25) überschreitet diesen um bis zu 36 %.

Eine entsprechende Beobachtung lässt sich auch beim Abschalten der Deckendüsen feststellen.

Bei dem Spenderkörper ID 31-15 (Tisch 28) wird der Stoffindex überschritten, bei dem Spender mit der ID 05-16 (Tisch 22) wird er stark überschritten.

In Abschnitt 3.7 wurde bereits das gute Zusammenarbeiten des technischen Systems Deckendüsen mit dem Einsatz von Infutrace vermutet. Dies hat sich mit den hier durchgeführten Messungen weiter bestätigt.

In der Vergangenheit wurden beim Öffnen der großen Körperhöhlen, hier Brust- und Bauchsitus immer größere, formaldehydhaltige Flüssigkeitsmengen frei.

Weshalb im Zuge der nächsten Messung dies messtechnisch überprüft wurde. Mit Bezug zu TRGS 402 wurden hier Messungen unter ungünstigsten Bedingungen abgeprüft.

Um die Formaldehydbelastung noch weiter zu erhöhen, wird eine für das Praktikum unübliche Reihenfolge gewählt. Üblicherweise werden Brust- und Bauchsitus aufgrund des Lehrplanablaufs nicht innerhalb eines einzelnen Kurstages durchgeführt. Mit der nächsten Messung sollte dies zur Lasterhöhung an verschiedenen Spenderkörpern nacheinander und simultan durchgeführt werden. Es wird hierbei von starken Lastspitzen ausgegangen, die im Normalfall nicht erreicht werden.

3.9 Weitere Messungen im Präparationssaal Ost, alle Tische mit Düsenblasanlage, optimierter Einsatz von Infutrace, hier Messung von ungünstigen / erschwerten Bedingungen

Messergebnisse vgl. (ARGUK Umweltlabor GmbH (2017))

Wie im vorlaufenden Abschnitt dargelegt, soll entsprechend dem üblichen Präparationsverlauf an der JLU Gießen, der Brustsitus eröffnet werden.

Um mit Bezug zu TRGS 402 eine Messung unter ungünstigen Bedingungen zu schaffen, wird parallel an einigen Spenderkörpern auch das Abdomen, oder nur das Abdomen geöffnet.

Der Präparationsgrad der Spenderkörper, welche in diesem Praktikumsteil eingesetzt werden ist: Haut komplett entfernt, diverse Oberflächen- und Muskelpräparationen. Bei den WS 16 Körpern sind bereits die Muskeln bis in den tieferen Schichten dargestellt.

Messung während Brustsitus- und Abdomenöffnung:

- Am Präparat ID20-15 wurden während des normalen Praktikumsverlaufs Grundbelastung vor Öffnung, Öffnung des Brustkorbs, Abklingphase, Öffnung des Abdomens jeweils für 15 min bestimmt.
- Am Präparat ID16-15 wurden während des normalen Praktikumsverlaufs Grundbelastung vor Öffnung, Öffnung des Brustkorbs jeweils für 15 min bestimmt.
- Am Präparat ID24-15 wurden während des normalen Praktikumsverlaufs Grundbelastung vor Öffnung, **simultane** Öffnung des Brustkorbs und des Abdomens, Abklingphase jeweils für 15 min bestimmt.
- Am Präparat ID18-14 wurden während des normalen Praktikumsverlaufs Grundbelastung vor Öffnung, Öffnung des Abdomens, Abklingphase, jeweils für 15 min bestimmt.
- Am Präparat ID 25-14 wurden während des normalen Praktikumsverlaufs Grundbelastung vor Öffnung, Öffnung des Brustkorbs, jeweils für 15 min bestimmt.

Ergebnisse vorlaufender Messungen zum Vergleich:

ID 20-15, aus WS 16/17, KS weiblich, Tisch **26**

Messwert 8.12.16 0.18 mg/m³

Messwert 16.2.17 0.054 mg/m³

ID 24-15 KS weiblich, **Tisch 23**, perfundiert: 13.10.15

Messwert 8.12.17 0,28 mg/m³

Messwert 16.2.17 0.055 mg/m³

Raumlufttechnische Bedingungen bei der Messung:

- Raumtemperatur ca. 17°C bis 19,5°C
- Relative Feuchte 35-40 %r.F.
- Fenster geschlossen
- Lüftung: ca. 12.500 m³/h, Einregulierung mit leichtem Unterdruck
- Praktikum alle Tische belegt
- 100 bis 120 Personen im Präparationssaal



Abbildung 23: Praktikum 24.04.2017, Quelle: Hieke

Die Personenbelegung der Tische sowie der Halle, das stehende oder gebückte Arbeitsverhalten der Personen an den Tischen kann Abbildung 23 entnommen werden.

3.9.1 Messergebnisse der Messung vom 27.04.2017 mit Bezug zum Arbeitsplatzgrenzwert

Spenderkörper ID 20-15; Tisch 26, sehr dünner kleiner Körper, sehr trocken					
Labornr. 846617-	Ort / Per- son*	Formaldehyd [mg/m³]	AGW 0,370 [mg/m³]	Meßintervall	Tätigkeit
1	stationär	0,034	eingehalten	10:34-10:49	Grund- be- lastung
2	Frau Sa	0,033	eingehalten	10:36-10:51	
3	Frau Se	0,029	eingehalten	10:37-10:52	
	Mittelwert	0,032	eingehalten		

4	stationär	0,026	eingehalten	10:49-11:05	öffnen des Brustkorbs
5	Frau Sa	0,023	eingehalten	10:51-11:06	
6	Frau Se	0,032	eingehalten	10:52-11:07	
	Mittelwert	0,027	eingehalten		

7	stationär	0,030	eingehalten	11:05-12:20	Ab- kling- phase
8	Frau Sa	0,028	eingehalten	11:06-11:21	
9	Frau Se	0,026	eingehalten	11:07-11:22	
	Mittelwert	0,028	eingehalten		

10	stationär	0,026	eingehalten	11:20-12:35	Öffnen des Abdomens
11	Frau Sa	0,027	eingehalten	11:21-11:36	
12	Frau Se	0,026	eingehalten	11:22-11:37	
	Mittelwert	0,026	eingehalten		

Spenderkörper ID 24-15; Tisch 23, sehr schwerer Körper, sehr feucht					
Labornr. 846617-	Ort / Per- son*	Formaldehyd [mg/m³]	AGW 0,370 [mg/m³]	Meßintervall	Tätigkeit
13	stationär	0,032	eingehalten	10:39-10:54	Grund- be- lastung
14	Herr I	0,039	eingehalten	10:40-10:55	
15	Herr H	0,024	eingehalten	10:41-10:56	
	Mittelwert	0,032	eingehalten		

16	stationär	0,039	eingehalten	10:54-11:09	gleichzeitiges
17	Herr I	0,038	eingehalten	10:55-11:10	Öffnen des

18	Herr H	0,042	eingehalten	10:56-11:11	Brustkorbs und Abdo- mens
	Mittelwert	0,040	eingehalten		

19	stationär	0,041	eingehalten	11:09-11:24	Ab- kling- phase
20	Herr I	0,027	eingehalten	11:10-11:25	
21	Herr H	0,037	eingehalten	11:11-11:26	
	Mittelwert	0,035	eingehalten		

Spenderkörper ID 16-15; Tisch 24					
Labornr. 846617-	Ort / Per- son*	Formaldehyd [mg/m³]	AGW 0,370 [mg/m³]	Meßintervall	Tätigkeit
22	stationär	0,035	eingehalten	10:47-12:04	Grund- be- lastung
23	Herr I	0,033	eingehalten	11:49-12:05	
24	Herr H	0,058	eingehalten	11:50-12:05	
	Mittelwert	0,042	eingehalten		

25	stationär	0,044	eingehalten	12:04-12:19	Öffnen des Brustkorbs
26	Herr I	0,032	eingehalten	12:05-12:20	
27	Herr H	0,057	eingehalten	12:06-12:21	
	Mittelwert	0,044	eingehalten		

Spenderkörper ID 18-14; Tisch 18					
Labornr. 846617-	Ort / Per- son*	Formaldehyd [mg/m³]	AGW 0,370 [mg/m³]	Meßintervall	Tätigkeit
28	stationär	0,033	eingehalten	11:52-12:07	Grund- be- lastung
29	Frau van S	0,043	eingehalten	11:53-12:08	
30	Herr E	0,037	eingehalten	11:54-12:09	
	Mittelwert	0,038	eingehalten		

31	stationär	0,037	eingehalten	12:07-12:22	Öffnen des
32	Frau van S	0,048	eingehalten	12:08-12:23	

33	Herr E	0,042	eingehalten	12:09-12:24	Abdomens
	Mittelwert	0,042	eingehalten		

34	stationär	0,036	eingehalten	12:22-12:37	Ab-
35	Frau van S	0,044	eingehalten	12:23-12:38	kling-
36	Herr E	0,036	eingehalten	12:24-12:39	phase
	Mittelwert	0,039	eingehalten		

Spenderkörper ID 15-14; Tisch 17					
Labornr. 846617-	Ort / Person*	Formaldehyd [mg/m³]	AGW 0,370 [mg/m³]	Meßintervall	Tätigkeit
37	stationär	0,034	eingehalten	12:32-12:47	Grund-
38	Herr K	%	eingehalten	12:33-12:48	be-
39	Frau F	0,046	eingehalten	12:34-12:49	lastung
	Mittelwert	0,040	eingehalten		

40	stationär	0,035	eingehalten	12:47-13:02	Öffnen
41	Herr K	0,036	eingehalten	12:48-13:03	des
42	Frau F	0,042	eingehalten	12:49-13:04	Brustkorbs
	Mittelwert	0,038	eingehalten		

Personenmessung etwa 3h					
Labornr. 846617-	Ort / Person*	Formaldehyd [mg/m³]	AGW 0,370 [mg/m³]	Meßintervall	Tätigkeit
43	Frau W	0,039	eingehalten	10:23-13:05	Tisch 23+24
44	Herr P	0,031	eingehalten	10:25-13:07	Tisch 17+18
	Mittelwert	0,035	eingehalten		

Raumluftmessung Halle, ca. 3 h					
Labornr.	Ort / Person*	Formaldehyd [mg/m³]	AGW	Meßintervall	Verortung

846617-			0,370 [mg/m ³]		im Bereich
45	MP 1	0,021	eingehalten	10:19-13:07	Tisch 19,20, 23, 24
46	MP 2	0,019	eingehalten	10:23-13:07	Tisch 21, 22, 25, 26
47	MP 3	0,027	eingehalten	10:23-13:07	Tisch 23, 24, 27, 28
48	MP 4	0,023	eingehalten	10:25-13:07	Rand und Tisch 26, 27
	Mittelwert	0,023	eingehalten		

Tabelle 15: Messwerte vom 27.04.2017 in Bezug zum Arbeitsplatzgrenzwert

Aus den personengebundenen Kurzzeitmessungen sowie den Stativmessungen (Raumlufmessungen) der Tabelle 15 ergaben sich an allen Tischen keine Überschreitungen des Arbeitsplatzgrenzwertes. Aufgrund des parallelen Einsatzes der Düsenblasanlage sowie der Spenderkörper mit Infutrace hat sich in allen Versuchen ein erkennbarer großer Sicherheitsabstand der Messwerte vom AGW sowie vom 25 %igen Stoffindex wiedereingestellt. Dies in Bezug auf die Formaldehydproblematik als großer Erfolg zu bewerten, da mit diesem Versuchsaufbau bewiesen wurde, dass selbst bei äußerst ungünstigen Bedingungen wie der Eröffnung der großen Körperhöhlen die Werte weit unterhalb des Grenzwertes oder des 25 %igen Stoffindex liegen.

Um die geringe Streuung der einzelnen Messwerte am Tisch besser sichtbar zu machen, sind die Messergebnisse in nachfolgender Tabelle 16 pro Tisch in Bezug auf Mittelwert, Standardabweichung sowie Standardabweichung in Prozent vom Mittelwert dargestellt. Dies spiegelt die Effizienz der Düsenblasanlage auf die vollständige Oberfläche des Spenderkörpers wider:

Tisch 26

Messung, Spenderkörper ID 20-15		[mg/m ³]
stationär	Grundbelastung	0,034
Frau Sa	Grundbelastung	0,033
Frau Se	Grundbelastung	0,029
	Mittelwert	0,032
stationär	Brustkorböffnung	0,026
Frau S	Brustkorböffnung	0,023
Frau Se	Brustkorböffnung	0,032
	Mittelwert	0,027

Tisch 18

Messung Spenderkörper ID 18-14		[mg/m ³]
stationär	Grundbelastung	0,033
Frau von S	Grundbelastung	0,043
Herr E	Grundbelastung	0,037
	Mittelwert	0,038
stationär	öffnen des Abdomens	0,037
Frau von S	öffnen des Abdomens	0,048
Herr E	öffnen des Abdomens	0,042
	Mittelwert	0,042

stationär	Abklingphase	0,03
Frau Sa	Abklingphase	0,028
Frau Se	Abklingphase	0,026
	Mittelwert	0,028
stationär	öffnen des Abdomens	0,026
Frau Sa	öffnen des Abdomens	0,027
Frau Se	öffnen des Abdomens	0,026
	Mittelwert	0,026
Gesamt		
Mittelwert		0,028
Standardabweichung		0,0032
Standardabw. in Prozent vom Mittelw.		11,3 %

stationär	Abklingphase	0,036
Frau von S	Abklingphase	0,044
Herr E	Abklingphase	0,036
	Mittelwert	0,039
Gesamt		
Mittelwert		0,040
Standardabweichung		0,0046
Standardabw. in Prozent vom Mittelw.		11,6 %

Tisch 23

Messung, Spenderkörper ID 24-15 [mg/m³]

stationär	Grundbelastung	0,032
Herr I	Grundbelastung	0,039
Herr H	Grundbelastung	0,024
	Mittelwert	0,032
stationär	gleichzeitig	0,039
Herr I	Brustkorböffnung	0,038
Herr H	Abdomenöffnung	0,042
	Mittelwert	0,040
stationär	Abklingphase	0,041
Herr I	Abklingphase	0,027
Herr H	Abklingphase	0,037
	Mittelwert	0,035
Gesamt		
Mittelwert		0,035
Standardabweichung		0,0060
Standardabw. in Prozent vom Mittelw.		16,9 %

Tisch 17

Messung Spenderkörper ID 15-14 [mg/m³]

stationär	Grundbelastung	0,034
Herr K	Grundbelastung	%
Frau F	Grundbelastung	0,046
	Mittelwert	0,040
stationär	Brustkorböffnung	0,035
Herr K	Brustkorböffnung	0,036
Frau F	Brustkorböffnung	0,042
	Mittelwert	0,038
Gesamt		
Mittelwert		0,039
Standardabweichung		0,0150
Standardabw. in Prozent vom Mittelw.		38,8 %

Tisch 24

Messung, Spenderkörper ID 16-15 [mg/m³]

stationär	Grundbelastung	0,035
-----------	----------------	-------

Personenmessung

Messung [mg/m³]

Frau W	Grundbelastung	0,039
--------	----------------	-------

Herr I	Grundbelastung	0,033	Herr P	Grundbelastung	0,031
Herr H	Grundbelastung	0,058		Mittelwert	0,035
	Mittelwert	0,042			
			Gesamt		
stationär	Brustkorböffnung	0,044	Mittelwert	0,035	
Herr I	Brustkorböffnung	0,032	Standardabweichung	0,0040	
Herr H	Brustkorböffnung	0,057	Standardabw. in Prozent vom Mittelw.	11,4 %	
	Mittelwert	0,044			
Gesamt					
Mittelwert	0,043				
Standardabweichung	0,0109				
Standardabw. in Prozent vom Mittelw.	25,1 %				

Tabelle 16: Messungen 16.02.2017, Mittelwert und Standardabweichung Tische

Alle Spenderkörper wurden mit 3% Formaldehyd fixiert.

Alle gemessenen Tische liegen mit Bezug zum Mittelwert im Range von 0,028 bis 0,043 mg/m³.

Auch die Standardabweichungen bezogen auf den Mittelwert lagen pro Tisch sehr nah zusammen. Es Ergaben sich Werte zwischen 11,3 und 25,1%.

Trotz der durchgeführten Messung bei ungünstigen Bedingungen ergaben sich große Sicherheitsabstände zum AGW. Auch die Messergebnisse lagen, mit Bezug zu Mittelwerten und Standardabweichungen, nah zusammen.

3.9.2 Messergebnisse der Messung vom 27.04.2017 mit Bezug zum Stoffindex

Grundbelastung

Tisch	Spender ID	FA-Fixierung m. Infutrace-behandlung	Labornr. 846617-	Ort / Person	Formaldehyd [mg/m ³]	F	Stoff-index
26	20-15	3 %	1	stationär	0.034	0,188 / 0,375	0,02 / 0,03
26	20-15	3 %	2	Frau Sa	0.033	0,188 / 0,375	0,02 / 0,03
26	20-15	3 %	3	Frau Se	0.029	0,188 / 0,375	0,01 / 0,03
Tischbewertung		Standardabw.	0.0022	Mittelwert	0.032	0,188 / 0,375	0,02 / 0,03
Brustkorböffnung							
26	20-15	3 %	4	Stationär	0.026	0,188 / 0,375	0,02 / 0,03

26	20-15	3 %	5	Frau Sa	0.023	0,188 / 0,375	0,01 / 0,03
26	20-15	3 %	6	Frau Se	0.032	0,188 / 0,375	0,02 / 0,03
Tischbewertung		Standardabw.	0.0037	Mittelwert	0.027	0,188 / 0,375	0,01 / 0,03
Abklingphase							
26	20-15	3 %	7	Stationär	0.030	0,188 / 0,375	0,02 / 0,03
26	20-15	3 %	8	Frau Sa	0.028	0,188 / 0,375	0,01 / 0,03
26	20-15	3 %	9	Frau Se	0.026	0,188 / 0,375	0,01 / 0,03
Tischbewertung		Standardabw.	0.0016	Mittelwert	0.028	0,188 / 0,375	0,01 / 0,03
Abdomenöffnung							
26	20-15	3 %	10	Stationär	0.026	0,188 / 0,375	0,01 / 0,03
26	20-15	3 %	11	Frau Sa	0.027	0,188 / 0,375	0,01 / 0,03
26	20-15	3 %	12	Frau Se	0.026	0,188 / 0,375	0,01 / 0,03
Tischbewertung		Standardabw.	0.0005	Mittelwert	0.026	0,188 / 0,375	0,01 / 0,03

Grundbelastung

23	24-15	3 %	13	Stationär	0.032	0,188 / 0,375	0,02 / 0,03
23	24-15	3 %	14	Herr I	0.039	0,188 / 0,375	0,02 / 0,04
23	24-15	3 %	15	Herr H	0.024	0,188 / 0,375	0,01 / 0,02
Tischbewertung		Standardabw.	0.0061	Mittelwert	0.032	0,188 / 0,375	0,02 / 0,03
gleichzeitige Brustkorb- und Abdomenöffnung							
23	24-15	3 %	16	Stationär	0.039	0,188 / 0,375	0,02 / 0,04
23	24-15	3 %	17	Herr I	0.038	0,188 / 0,375	0,02 / 0,04
23	24-15	3 %	18	Herr H	0.042	0,188 / 0,375	0,02 / 0,04
Tischbewertung		Standardabw.	0.0017	Mittelwert	0.040	0,188 / 0,375	0,02 / 0,04
Abklingphase							
23	24-15	3 %	19	Stationär	0.041	0,188 / 0,375	0,02 / 0,04
23	24-15	3 %	20	Herr I	0.027	0,188 / 0,375	0,01 / 0,03
23	24-15	3 %	21	Herr H	0.037	0,188 / 0,375	0,02 / 0,04
Tischbewertung		Standardabw.	0.0059	Mittelwert	0.035	0,188 / 0,375	0,02 / 0,04

Grundbelastung

24	16-15	3 %	22	Stationär	0.035	0,188 / 0,375	0,02 / 0,04
24	16-15	3 %	23	Herr I	0.033	0,188 / 0,375	0,02 / 0,04
24	16-15	3 %	24	Herr H	0.058	0,188 / 0,375	0,03 / 0,06
Tischbewertung		Standardabw.	0.0113	Mittelwert	0.042	0,188 / 0,375	0,02 / 0,05
Öffnen des Brustkorbes							
24	16-15	3 %	25	Stationär	0.044	0,188 / 0,375	0,02 / 0,04
24	16-15	3 %	26	Herr I	0.032	0,188 / 0,375	0,02 / 0,03
24	16-15	3 %	27	Herr H	0.057	0,188 / 0,375	0,03 / 0,06
Tischbewertung		Standardabw.	0.0102	Mittelwert	0.044	0,188 / 0,375	0,02 / 0,04

Grundbelastung							
18	18-14	3 %	28	Stationär	0.033	0,188 / 0,375	0,02 / 0,03
18	18-14	3 %	29	Frau S	0.043	0,188 / 0,375	0,02 / 0,04
18	18-14	3 %	30	Herr E	0.037	0,188 / 0,375	0,02 / 0,04
Tischbewertung			Standardabw. 0.0041	Mittelwert	0.038	0,188 / 0,375	0,02 / 0,04
Öffnen des Abdomens							
18	18-14	3 %	31	Stationär	0.037	0,188 / 0,375	0,02 / 0,04
18	18-14	3 %	32	Frau S	0.048	0,188 / 0,375	0,02 / 0,05
18	18-14	3 %	33	Herr E	0.042	0,188 / 0,375	0,02 / 0,04
Tischbewertung			Standardabw. 0.0045	Mittelwert	0.042	0,188 / 0,375	0,02 / 0,04
Abklingphase							
18	18-14	3 %	34	Stationär	0.036	0,188 / 0,375	0,02 / 0,04
18	18-14	3 %	35	Frau S	0.044	0,188 / 0,375	0,02 / 0,04
18	18-14	3 %	36	Herr E	0.036	0,188 / 0,375	0,02 / 0,04
Tischbewertung			Standardabw. 0.0038	Mittelwert	0.039	0,188 / 0,375	0,02 / 0,04

Grundbelastung							
17	15-14	3 %	37	Stationär	0.034	0,188 / 0,375	0,02 / 0,03
17	15-14	3 %	38	Herr K	%	0,188 / 0,375	% / %
17	15-14	3 %	39	Frau F	0.046	0,188 / 0,375	0,02 / 0,05
Tischbewertung			Standardabw. 0.0060	Mittelwert	0.040	0,188 / 0,375	0,02 / 0,04
Öffnen des Brustkorbes							
17	15-14	3 %	40	Stationär	0.035	0,188 / 0,375	0,02 / 0,04
17	15-14	3 %	41	Herr K	0.036	0,188 / 0,375	0,02 / 0,04
17	15-14	3 %	42	Frau F	0.042	0,188 / 0,375	0,02 / 0,04
Tischbewertung			Standardabw. 0.0031	Mittelwert	0.038	0,188 / 0,375	0,02 / 0,04

Personenmessung ca. 3 h							
%			43	Frau W	0.039	0,188 / 0,375	0,02 / 0,04
%			44	Herr P	0.031	0,188 / 0,375	0,02 / 0,03
Bewertung			Standardabw. 0.0040	Mittelwert	0.035	0,188 / 0,375	0,02 / 0,04

Raumluftmessung Halle ca. 3h							
19.20.23.24	%	3 %	45	Stationär	0.021	0,188 / 0,375	0,01 / 0,02

21.22.25.26	%	3 %	46	Stationär	0.019	0,188 / 0,375	0,01 / 0,02
23.24.27.28	%	3 %	47	Stationär	0.027	0,188 / 0,375	0,01 / 0,02
Rand / 26.27	%	3 %	48	Stationär	0.023	0,188 / 0,375	0,01 / 0,02
Tischbewertung Standardabw. 0.0030				Mittelwert	0.023	0,188 / 0,375	0,01 / 0,02

Tabelle 17: Raumluftmessungen vom 27.04.2017, Vergleich zum Stoffindex

Tabelle 17 zeigt, dass sich bei gleichzeitigem Einsatz des Deckendüsensystems zusammen mit Einsatz von Infutrace im Bereich der Spenderkörpervorbereitung der große Sicherheitsabstand zum AGW sowie 25 %igen Stoffindex wiedereingestellt hat. Dies war zwar bereits in den vorlaufenden Messungen erkennbar, wurde jedoch durch die Öffnung von Bauch- und Brustsitus, stellenweise direkt nacheinander ausgeführt oder simultan, was einer Maximalbelastung entspricht, geprüft.

Mit Bezug zu den gewählten ungünstigen Messbedingungen, dem Öffnen der großen Körperhöhlen, wird die Wirksamkeit der gewählten Methode vollumfänglich bestätigt.

Zusammenfassung:

Mittels der hier durchgeführten Messungen wurden Spenderkörper zu Beginn der Präparation in verschiedenen, für den Praktikumsverlauf typischen Präparationsschritten, vom Beginn im ersten Semester bis zum Ende des zweiten Semesters begleitet. Hierdurch konnte eine stetige Optimierung der Methode, bei gleichzeitiger Erfolgskontrolle, erfolgen. Damit wurde gezeigt, dass dieses neu entwickelte System optimal geeignet ist, jederzeit eine gesunde Arbeitsatmosphäre im Präparationssaal zu garantieren.

4 Diskussion und Ausblick

4.1 Betrachtung des für die Präparationssäle optimierten Systems

Formaldehyd wird auch derzeit noch als wichtigstes Fixans für anatomische Präparate genutzt. Die Ergebnisse dieser Arbeit belegen eindeutig, dass ein bestehender Präparationssaal auch ohne abgesaugte Tische mit entsprechend modifizierter Lüftungstechnik mittels Düsenblasanlage optimierter Lüftung eine gute Möglichkeit darstellt, die Arbeitsplatzgrenzwerte von Formaldehyd zu unterschreiten. Hierbei spielt die abwärts auf die Präparatoberfläche gerichtete Luftführung eine große Rolle. Mittels einer auf die Halle, die Hallenhöhe und die Tische angepassten Düsenblasanlage war es möglich eine lufttechnische Schirmung aufzubauen. Dabei wird Luft im Bereich der Hallendecke angesaugt – dies ist notwendig, damit diese immer möglichst isotherm zur Raumluft ist – und mittels Düsensysteme über dem Sektionstisch ausgeblasen. Aufgrund der im Deckenbereich eingebrachten Luft wird hier von einer guten Luftqualität ausgegangen. Aufgrund der in der Halle bestehenden Mischlüftung, kann die von den Düsen als Treibstrahlluft verwendete Luftqualität aber nicht schlechter sein als der Hallenmittelwert welcher in gewissem Abstand zum Sektionstisch gemessen werden kann. Die Kontrolle dieser Luftqualität ist wichtig, da diese neben der Primärluftversorgung der Düsen auch die Luftqualität beschreibt, welche der Düsenstrahl von der Decke zum Präparationstisch mittels Induktion weiter aufnimmt. Durch Induktion von Luft wird der aus der Düse austretende Luftstrahl in seinem Volumen erhöht und in seiner Geschwindigkeit gemindert. Die über dem Spenderkörper auftreffende Luftmenge und Luftgeschwindigkeit unterdrückt den Auftrieb der durch die am Sektionstisch stehenden Personen erzeugt wird, versorgt deren persönlichen Atemraum mit möglichst formaldehydunbelasteter Atemluft und umspült gleichzeitig den Spenderkörper um die dort vorherrschende Formaldehydkonzentration zu verdünnen. Im Weiteren wird die Luft weiter nach unten gedrückt, vermischt sich mit der Hallenluft und geht teilweise in die Abluftdurchlässe über. Die hier eingesetzten Düsenblasanlagen wurden im Mittel auf einen Downflowgeschwindigkeit von 0,24 m/s über dem Tisch sowie eine mittlere Downflowmenge von 1.400 m³/h ausgelegt (vgl. Abschnitt 5.4.2.).

Mit diesen Einstellungen wurden Formaldehydreduzierungen in der Atemluft bis 74% erreicht, ohne das Wohlbefinden der Personen am Präparationstisch zu beeinträchtigen.

Betrachtet man das Gesamtsystem in der Halle von innen nach außen, können zwei miteinander in Verbindung stehende Systeme gesehen werden:

- Das System mit den Personen am Präparationstisch
- Das System der umgebenden Halle

Beide stehen miteinander in direkter Verbindung.

Das System der Personen am Präparationstisch bestehend aus dem Tisch mit dem aufliegenden Spenderkörper, der Personen am Präparationstisch mit dem dadurch entstehenden thermischen Auftrieb aber auch dem Atemluftbedarf im Bereich des persönlichen Atemraums und der über dem Tisch montierten Düsenblasanlage.

Hier findet mit den weiter oben beschriebenen Mechanismen durch die Düsenblasanlage der Schutz des persönlichen Atemraumes, die Unterdrückung des thermischen Luftauftriebs, erzeugt durch die Körperwärme der am Präparationstisch stehenden Personen, die Umspülung des Spenderkörpers mit Raumluft sowie die Übergabe der Formaldehydlast an die Hallenluft statt.

Das System der Halle besteht im weitesten Sinne aus dem in Abschnitt 1.6.1 beschriebenen Lüftungssystem der Zu- und Abluft. Hier werden über 12.500 m³/h Zu- und 14.500 m³/h Abluft die Schadstoffabfuhr aus dem Raum hergestellt.

Da aufgrund baulicher Gegebenheiten keine Direktabsaugung der Präparationstische erfolgen konnte, konnte auch kein Formaldehyd auf kurzem Wege die Raumgrenzen und damit den möglichen Atemraum von Personen verlassen.

Vollständige Durchmischung vorausgesetzt, ergibt dies einen Maximalwert an abführbarem Formaldehyd.

Es kann dann folgende Stoffbilanz aufgestellt werden:

$$K + V_A * k_A = V_A * k_R$$

Hier bezeichnen:

K Schadstoffstrom

V_A Außenluftvolumenstrom = dem Fortluftstrom bei konstanter Temperatur

k_A Schadstoffkonzentration der Außenluft

k_R Schadstoffkonzentration der Raumluft (Fortluft, Abluft)

(Arbeitskreis der Dozenten für Klimatechnik 1989, S. 81)

Löst man die Gleichung nach dem Schadstoffstrom auf und setzt für diesen Überschlag den Schadstoffstrom der Außenluft für Formaldehyd gleich 0, ergibt sich folgende Gleichung:

$$K = V_A * (k_R - k_A)$$

$$K = V_A * (k_R - 0)$$

Mit V_A = 12.500 m³/h Außenluft, k_R = 0,37 mg Formaldehyd / m³

ergibt sich

$$K = 12.500 \text{ m}^3/\text{h} * 0,37 \text{ mg}/\text{m}^3 = 4.625 \text{ mg}/\text{h} = 4,6 \text{ g}/\text{h} \text{ reines Formaldehyd}$$

Geht man weiter davon aus, dass die über Unterdruck nachströmende Luft keine Formaldehydbelastung besitzt kann der Zuluftvolumenstrom gleich dem Abluftvolumenstrom gesetzt werden.

Es ergibt sich:

$$K = 14.500 \text{ m}^3/\text{h} * 0,37 \text{ mg}/\text{m}^3 = 5.365 \text{ mg}/\text{h} = 5,4 \text{ g}/\text{h} \text{ reines Formaldehyd}$$

Diese Rechnung zeigt eine Grenze die bei der Formaldehydfreisetzung in der Präparationshalle nicht überschritten werden sollte. Da dies nicht immer zu gewährleisten ist, wurde im Rahmen unseres Projektes eine weitere Reduktion der Emission durch eine Zerstörung / Bindung des überschüssigen Formaldehyds im Spenderkörper durchgeführt. Hierzu wurden die Spenderkörper mit einer 20 %igen Infutrace Lösung an multiplen Stellen unterspritzt, sowie äußerlich mit einer 11 %igen Infutrace Lösung befeuchtet. Hierdurch wird das frei vorkommende Formaldehyd polymerisiert und kann somit nicht mehr emittiert werden (siehe Dissertation Sonja Pfeil 2017). Klar ist, wenn die seitens der Spenderkörper abgegebene Formaldehydlast größer als die oben berechnete Menge ist, besteht die beschriebene schützende Funktion des persönlichen Atemraumes nach wie vor. Jedoch wird es aufgrund fehlender Verdünnungsmöglichkeit zu Überschreitungen der Arbeitsplatzkonzentration im Bereich der persönlichen Atemluft am Präparationstisch und der Halle kommen. Das von uns für die Anatomie der JLU Gießen entwickelte Verfahren beruht deshalb auf der Kombination beider Systeme. Hierdurch war es möglich anfangs gemessene Formaldehydwerte von über 2 mg/m^3 sicher unter bestehende Arbeitsplatzgrenzwerte sowie den 25 %igen Stoffindex zu senken.

Mittels der hier gefundenen Methode wurde, ausgehend von mehrfacher Überschreitung des Arbeitsplatzgrenzwertes, ein sicherer Weg aufgezeigt, den Arbeitsplatzgrenzwert einzuhalten. Durch die im Projekt erfolgte weitere Optimierungen der Düsenblasanlage und den optimierten Einsatz von Infutrace™ sind Messwerte mit deutlichem Abstand zum formalen statistischen Nachweis des 25% igen Stoffindexwertes mit Bezug zu TRGS 402 umsetzbar. Bei Einhaltung der Kurzzeitwertanforderungen kann nach DIN EN 689 (Anhang D) [2] der Befund - „Schutzmaßnahmen ausreichend“ getroffen werden. (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin 2017a). Um mögliche Gefährdungen der Studenten und Lehrkräfte auszuschließen, wurden durch das Regierungspräsidium Kassel, der Hessischen Ländermessstelle für Gefahrstoffe Formaldehydmessungen durchgeführt.

Der Messbefund lautet:

Unter den beprobten betriebsspezifischen Bedingungen ergaben sich für den Zeitpunkt der Messung für die Belastung gegenüber Formaldehyd an allen beprobten Arbeitsplätzen folgende Befunde:

- Schutzmaßnahmen ausreichend
- Kurzzeitwertanforderungen erfüllt

(Regierungspräsidium Kassel, Fachzentrum für Produktsicherheit und Gefahrstoffe 2017)

4.2 Betrachtung von technischen Alternativen am Markt

4.2.1 Ohne zusätzlich optimierte Lüftung

Es wurde bereits im Abschnitt 2.1 für die Präparationssäle der Justus-Liebig-Universität Gießen festgestellt, dass alleine mit einer Lüftungsanlage die Arbeitsplatzgrenzwerte und der Stoffindex nicht einzuhalten sind.

Ähnliches wird in der Ausarbeitung von Vohra über die Präparationshalle der King Saud University in Riyadh berichtet. Hier können am Präparationstisch Formaldehydexpositionen zwischen 0.6 ppm bis 1.44 ppm gemessen werden (Vohra 2011). Auch Azari berichten in der Ausarbeitung von Formaldehydwerten im Bereich von 70-2940 ppb. Bei seiner Untersuchung wurden in einem konventionell über Zu- und Abluft gelüfteten Präparationssaal Formaldehydwerte zwischen 306 ppb bis 698 ppb gemessen (Azari et al. 2012). In Deutschland wurde im Zeitraum zwischen 2002 bis 2016 an 12 Anatomien durch die Unfallkasse die Formaldehydbelastung im Präparationssaal gemessen. Es wurden Überschreitungen des Arbeitsplatzgrenzwertes in fast allen Bereichen deutlich. Ebenso wird hier erkennbar, dass es ohne eine optimierte Lüftung kaum möglich ist, die Arbeitsplatzgrenzwerte einzuhalten (Thullner 2016b). Es sind somit gut aufeinander abgestimmte Systeme nötig, um die Grenzwerte für Formaldehyd in der Atemluft einzuhalten. Mit der in den meisten Präparationshallen installierten Standardlüftung, kann das Ziel nicht erreicht werden.

So haben sich aktive Bemühungen zur Reduzierung der Exposition wie Reduzierung des Formaldehydgehalts bei der Einbalsamierungslösung, Erhöhung des allgemeinen Raumlufwechsels, Verlegung der Zu- und Abluftdurchlässe bei der konsequenten Reduzierung von Formaldehyd Expositionen als nicht ausreichend erfolgreich erwiesen (King et al. 2002).

4.2.2 Absaugsystem mit Filtern

Am Markt sind Filtersysteme erhältlich, welche im Umluftverfahren Formaldehyd binden können.

Diese Systeme können eingesetzt werden, wenn es, wie in den Präparationshallen der Justus-Liebig-Universität aus baulichen Gründen nicht möglich ist, abgesaugte Tische zu installieren.

Die angebotenen Systeme bestehen aus einem absaugbaren Präparationstisch sowie einer im Raum stehenden Ventilationseinheit, welche in Luftrichtung mit nachfolgenden Komponenten bestückt ist: Schwebstofffilter, Filter, bestehend aus Kaliumpermanganat auf Aluminiumkugeln als Träger und Ventilator.

Das System ist mit verschiedenen Volumenstromleistungen erhältlich und dient dazu, den abgesaugten Präparationstisch mit der nötigen Abluftmenge zu versorgen. Die Luft wird dann mittels Schlauchsysteme der beschriebenen Ventilationseinheit zugeführt und

über Schwebstofffilter und Kaliumpermanganatfilter einer Reinigung unterzogen. In diesem Zusammenhang sollte der Schwebstofffilter jedoch als Schutz für den nachgeschalteten Filter erachtet werden.

Vorteil dieser Systeme ist die Schaffung einer direkten Tischabsaugung. Hierüber können luftgängige Schadstoffe des Spenderkörpers, hier Blickrichtung Formaldehyd, teilweise direkt erfasst und somit dem Luftvolumen der Halle und der persönlichen Atemluft entnommen werden.

Nachteilig ist hierbei jedoch:

Das Ventilations- und Filtersystem steht in der Nähe der Präparationstische, es verringert die Fläche zur Tischaufstellung und damit die mögliche Personenzahl im Praktikum.

Das Ventilations-Filtersystem erhöht den Schallpegel in den Raum. Hierdurch kann die Lehre negativ beeinflusst werden.

Das Ventilations-Filtersystem muss meist zusammen mit neuen, abgesaugten Tischen angeschafft werden und bedarf damit gewisser finanzieller Ressourcen.

Die Filter des Systems müssen zyklisch gewechselt werden, die beladenen Filter bedürfen des Austauschs, der Entsorgung oder der Aufarbeitung. Auch hier fallen Kosten an.

Da mit diesem System eine Tischabsaugung realisiert werden kann, stellt es einen wichtigen Beitrag zur Formaldehydreduzierung in Präparationshallen dar. Aufgrund von vorgenannten Erfahrungen kann davon ausgegangen werden, dass mit dieser Komponente alleine zwar eine Verbesserung jedoch keine Einhaltung der Arbeitsplatzgrenzwerte zu erreichen ist.

Bei Einsatz dieses Systems ist für den Betreiber oder den Nutzer schwer zu erkennen, wann die Filtereigenschaften des Kaliumpermanganatfilters erschöpft sind und das System Luft mit geringerer Filterleistung oder ungefiltert in die Präparationshalle zurückführt. In diesem Zusammenhang ist auch die Forderung der Gefahrstoffverordnung zu sehen:

Werden in einem Arbeitsbereich Tätigkeiten mit krebserzeugenden, keimzellmutagenen oder reproduktionstoxischen Gefahrstoffen der Kategorie 1A oder 1B ausgeübt, darf die dort abgesaugte Luft nicht in den Arbeitsbereich zurückgeführt werden. Dies gilt nicht, wenn die Luft unter Anwendung von behördlich oder von den Trägern der gesetzlichen Unfallversicherung anerkannten Verfahren oder Geräte ausreichend von solchen Stoffen gereinigt ist. Die Luft muss dann so geführt oder gereinigt werden, dass krebserzeugende, keimzellmutagene oder reproduktionstoxische Stoffe nicht in die Atemluft anderer Beschäftigter gelangen. (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin 2017b, 19, §10 Abs. 5)

Dies bedeutet, dass der Einsatz des Systems von jedem Betreiber mit den zuständigen Stellen abzustimmen ist und sicherlich mit Betriebsauflagen versehen wird.

Auch kann davon ausgegangen werden, dass dieses System nur eine mögliche Komponente eines Gesamtsystems darstellt. Wäre die Grenzwerteinhaltung allein mit diesem System möglich, würden Grenzwerte auch mit abgesaugten Tischen, eventuell im Verbund mit einer Standardlüftungsanlage, eingehalten werden können.

4.2.3 Spezielle Tischabsaugungen

Zur Direkterfassung des Formaldehyds am Spenderkörper wurden von verschiedenen Personen abgesaugte Tische in Sonderausführungen entwickelt. Hiermit sollen die vom Spenderkörper emittierten Schadstoffe direkt erfasst und ein Übergang in die Präparationshallenluft oder gar den persönlichen Atembereich der Präparationsteilnehmer möglichst vollständig verhindert werden.

Um dies zu erreichen, muss der Tisch den Spenderkörper möglichst weit umfassen. An Personen aufsteigende Luftmengen dürfen nicht in Kontakt mit dem Spenderkörper treten. Sofern doch, müssen die Luftmengen von der Tischabsaugung der Hallenluft entnommen werden. Ein Beispiel beschreiben Kunugita in Ihrer Ausarbeitung.

Zusammen mit einer allgemeinen Präparationshallenlüftung von 12.500 m³/h wurden mit diesem System Formaldehydwerte im Bereich von unter 100 ppb gemessen. Deutlich nachteilig für die Studenten dürfte sich jedoch der ausladend konstruierte Tisch bemerkbar machen (Kunugita et al. 2005). Aufgrund der räumlichen Dimension ist von einer starken versperrenden Wirkung und damit einer Behinderung bei der Präparation des Körpers auszugehen.

Ein konstruktiv ähnlicher Tisch wird von Yamato beschrieben. Mit einem Präparationshallenluftwechsel von 10,6 pro Stunde wird von Messwerten im Bereich von 50 ppb berichtet (Yamato et al. 2005).

Da Yamato bei der vorgenannten Lösung Zweitautor war, ist davon auszugehen, dass es sich hierbei um einen konstruktiv ähnlichen Tisch handelt. Anhand der Konstruktionsdetails ist von einem Vormodell auszugehen. Entsprechend stellen sich auch hier die nachteiligen räumlichen Versperrungen bei der Präparation ein.

Die vorgestellten Tische sind ähnlich dem Abluftfilter (Filtertisch) aus Abschnitt 4.2.2 nicht ohne weitere Lüftungskomponenten, wie Zuluftsysteme oder allgemein Präparationshallenlüftung, einsetzbar. Ohmichi beschreiben einen direkt abgesaugten Tisch ohne weitere Lüftungsunterstützung im Raum. Als Besonderheit arbeitet der Tisch im Umluftverfahren. Nach unten abgesaugte Luft wird über photo-katalytische Filter und Aktivkohlefilter gereinigt. Die so aufbereitete Luft wird über dem Spenderkörper als Spülluft wieder aufgegeben und nachfolgend über den Filter abgesaugt. In ihrem Aufsatz gehen Ohmichi von einer Reduktion des Formaldehyds von etwa 70 bis 80% aus. Gleichzeitig werden Messwerte von 0.057 ppm bis 0.947 ppm über dem Tisch genannt (Ohmichi et al. 2007).

Das von Ohmichi beschriebene System stellt als einziges einen autarken Tisch vor, welcher ausschließlich im Umluftverfahren arbeitet. Genannte Formaldehydmesswerte liegen im niedrigen Bereich bis 0.336 ppm. Im Bereich direkt über dem Tisch wurden bis 0.947 ppm gemessen.

Da hier der persönliche Atembereich der Personen am Präparationstisch liegen kann, ist dieses System noch nicht optimal.

4.2.4 Fachgespräch Formaldehyd vom 10.2016, hier Gesamtsystem

Das IFA hat im Oktober 2016 aufgrund der in den meisten Anatomien deutlich überschrittenen Formaldehydwerten in der Atemluft zu einem Fachgespräch nach Berlin geladen.

Im Zuge der Vortragsreihen wurde ein lufttechnisches Gesamtsystem, bestehend aus mehreren Einzelmaßnahmen zur Reduktion des Formaldehyds im anatomischen Praktikum, vorgestellt.

Das vorgestellte System besteht als zentralem Punkt aus einem abgesaugten Tisch sowie einer zweigeteilten Zuluft. Ein Teil der Zuluft wird direkt über dem Tisch in Form einer Verdrängungsströmung in den Raum gegeben. Der Zweite Zuluftteil wird mittels Quellaufdurchlässen an den Raumwänden oder im Raum positioniert dem Raum zugeführt.

Hinsichtlich der Luftmengen wird pro Tisch von etwa 2.000 m³/h Abluft ausgegangen. Der Zuluftvolumenstrom wird mit etwa 1.000 m³/h über dem Tisch als Verdrängungsströmung sowie ca. 1.000 m³/h über die Quellaufdurchlässe im Bereich der Raumwände angesetzt.

Für die Funktion des ineinander verzahnten Systems sind Temperaturen einzuhalten:

- Zuluft über Quellaufdurchlässe min. 16°C
- Tischzuluft ca. 17°C jedoch max. 18°C
- Präparationshallentemperatur max. 21°C

(Stockmann 2016)

Diese Temperaturen sowie die Verhältnisse zueinander sind für das Funktionieren des Systems wichtig. Gleiches gilt für die Luftmengen. Kommt es zum Beispiel im Bereich der Tischzuluft zu einer tieferen Zulufttemperatur, fällt die Verdrängungszuluft zu schnell ab. Die abfallende Strömung schnürt sich dabei ein. Die abschirmende Wirkung der Verdrängungsluft kann dann nicht mehr optimal umgesetzt werden.

Ähnliches gilt für die Temperaturgrenzen der Zuluft über den Raum sowie der Hallentemperatur. Auch diese sollen innerhalb der vorgegebenen Bereiche eingehalten werden.

Das vorgestellte Gesamtsystem ist zum Funktionieren auf die angegebenen Temperaturverhältnisse angewiesen. Diese müssen somit von den haustechnischen Anlagen möglichst exakt zur Verfügung gestellt werden. Das bedingt einen größeren Technikaufwand im Bereich der raumluftechnischen Anlagen, der Regelung aber auch der Kälteversorgung.

Weiterhin sind die Kühllasten der Halle im Sommer über den Luftanteil der Quellauf herzustellen. Es bedarf einer gut isolierten Gebäudehülle, da diese Luft bereits die Kühllast der Personen am Präparationstisch abzuführen hat. Ist die Hallenisolierung, eventuell aufgrund alter Fenster oder nur mäßig isolierter Dächer und Wände nicht ausreichend, muss zur Kompensation der Zuluftstrom über die Quellaufdurchlässe erhöht werden.

Somit müssen pro Präparationstisch mindestens 2.000 m³/h Zu- und Abluft mit den oben genannten Konditionen von den haustechnischen Anlagen zur Verfügung gestellt wer-

den. Hierfür ist eine funktionierende Infrastruktur im Bereich von Leistungsstrom, Fernkälte, Fernwärme oder der entsprechenden Kälte- und Wärmeerzeugung vorzuhalten. Parallel dazu muss für oben genannte Anlagen Installationsraum vorhanden sein.

Im Bereich der Präparationshallen der Justus-Liebig-Universität wäre dies am alten Standort der Räume kaum umsetzbar.

Aufgrund der baulichen und technischen Anforderungen und den daraus resultierenden räumlichen und infrastrukturellen Anforderungen ist die Umsetzung sicherlich nicht in allen bestehenden Anatomiebereichen möglich. Besonders dann, wenn durch Lehrveranstaltungen nur ein kurzer Umbauzeitraum zur Verfügung gestellt werden kann.

Der Schwerpunkt des hier betrachteten Systems liegt somit eher im Neubau oder bei großflächig angelegten Sanierungen.

Kann das System umgesetzt werden, hat es den Vorteil, dass zum technischen Anlagenbetrieb keine zusätzliche Vorbereitung der Spenderkörper nötig ist. Hierin liegt ein Vorteil für die Präparatoren und Nutzer des Präparationssaals, der aber mit erhöhtem Anlagen-, Erstellungsaufwand und Energiekosten auf der Betreiberseite einhergeht.

Durch die teilweise direkt erfassten Emissionen des auf dem abgesaugten Tisch aufliegenden Spenderkörpers, ist die mögliche Formaldehydabfuhrlast höher als bei einem Mischlüftungsbetrieb ohne Schadstoffdirekterfassung.

Das bringt diesem System zusätzliche Sicherheit zum betrachteten Formaldehydgrenzwert. Es darf aber vermutet werden, dass das System aufgrund der einzuhaltenden Temperaturdifferenzen nicht leicht auszuregeln ist. Somit wird es im Systembetrieb vermutlich öfter zu Abweichungen kommen. Selbiges dürfte bei der Verdrängungsströmung über dem Tisch vermutet werden. Da diese Art der Strömung nicht so stabil wie Düsenströmung ist, dürften im laufenden Betrieb Abweichungen durch Arbeitswechsel an den Tischen, Querströmungen durch eventuelle Dynamik der Studenten im Praktikum auftreten. Ob diese sicher vorhandenen systemtypischen Probleme zu größeren Abweichungen der Messergebnisse oder gar zu Grenzwertüberschreitungen führen können, bleibt unklar. Bisherige Messungen beschränken sich auf Computersimulationen sowie Lifetests in einem kleinen Präparationssaal mit zwei Tischen. Die für dieses System bei der 32. Arbeitstagung der Anatomischen Gesellschaft präsentierten Ergebnisse zeigen einen großen Sicherheitsabstand zum AGW. Es kann somit genügend Reserve für eventuelle Systemschwankungen vermutet werden.

4.3 Ausblick

Das vorgestellte System kann sehr gut zur Ertüchtigung anderer Präparationshallen eingesetzt werden. Als Ergänzung zu bestehenden Systemen ist es leicht und mit geringem bautechnischen und Kostenaufwand nachrüstbar. Nötige Aufwendungen für Schaltschrank, Verkabelung sowie Materialien für die Düsenblasanlage sind als moderat zu bezeichnen. Da das System meist die vorhandenen Raumkonditionen der bestehenden Präparationshalle nutzen kann, werden keine teuren Maßnahmen zur Vorklimatisierung

und Konditionierung der Präparationshallenluft benötigt. Dies spart Investitions- und Betriebskosten. Gegenüber einem Komplettumbau besteht hier die Möglichkeit kosteneffizient und mit geringen technischen Nachrüstungen bestehende Präparationssäle zu ertüchtigen.

Für den dann geänderten Einsatz der Düsenblasanlage bedarf es einer Anpassung an bestehende Raumhöhen sowie Tischgrößen. Auch muss das bereits vorhandene Lüftungssystem in Bezug auf möglichen Schadstoffaustrag berücksichtigt werden. Eine Anpassung kann über Düsenanzahl, deren Position und -größe sowie den durchgesetzten Düsenvolumenstrom erfolgen.

Unterhalt und Wartung einer Düsenblasanlage entspricht dem Wartungsaufwand normaler raumluftechnischer Anlagen oder Laborlüftungssysteme.

Im Anlagenbetrieb müssen mit Bezug zu BGR 121, hier Abschnitt 3.7.2 lufttechnische Anlagen auf ordnungsgemäße Installation, Funktion und Aufstellung in regelmäßigen Zeitabständen, mindestens jedoch einmal jährlich, durch eine befähigte Person geprüft werden. Dies beinhaltet auch lufttechnische Funktionsprüfungen und -messungen. (Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften 2004) Hierbei ist für das beschriebene System der Düsenblasanlage nur von geringeren Kosten auszugehen.

Der Vorteil dieses Verfahrens ist der vergleichbar kleine Aufwand bei der technischen Anlagenerstellung sowie im späteren Betrieb. Meist ist es möglich die Nachrüstungen im Zeitraum der Semesterferien oder bei Vorhandensein mehrerer Präparationssäle im laufenden Betrieb durchzuführen. Auch ist der wirtschaftliche Aufwand bei der Systemerstellung und dem Systembetrieb deutlich geringer als bei einem Neubau.

Es konnte gezeigt werden, dass die bisher erfolgreich ausgeführten Systeme immer aus einer abgestimmten Lösung zwischen abgesaugten Tischen und Präparationshallenlüftung bestehen (Demer et al. 1996), (Stockmann 2016).

Das an der Justus-Liebig-Universität entwickelte System arbeitet ohne direkt abgesaugte Tische und stellt somit einen Sonderfall dar. Mittels der entwickelten Düsenblasanlage können Formaldehydwerte im persönlichen Atembereich am Präparationstisch im Bereich zwischen 53 % bis 74 % gemindert werden. Üblicherweise können hiermit Messwerte unterhalb des Arbeitsplatzgrenzwertes realisiert werden. In der Kombination mit dem Wirkstoff InfutraceTM wird eine weitere Reduktion des Formaldehyds erreicht. Es wurde gezeigt, dass zu Projektbeginn vorliegende Messwerte von über 2 mg/m³ deutlich unter den geltenden AGW abgesenkt werden konnten. Der dadurch erzielte große Abstand vom Grenzwert gewährleistet stets, auch bei zeitlich längeren Praktikumsbelastungen, eine sichere Einhaltung auch des 25 %igen Stoffindex.

Aufgrund der gesetzlichen Vorgaben für Formaldehyd in der Atemluft, den Berichten und Messungen der Unfallkassen dürften alle Betreiber von Anatomien sowie die betroffenen Universitäten an Lösungen des Problems interessiert oder gar selbst versucht sein, das Problem zu lösen.

Abhängig von der jeweiligen Situation und deren Bewertung kann dies mittels

- Umstieg auf Alkoholpräparation, zurzeit jedoch mit bewusstem Verstoß gegen die Biozidverordnung
- Neubau
- oder Nachrüstung von bestehenden Systemen mittels dem an der JLU entwickelten System

erfolgen.

Welcher Weg beschritten wird, ist von vielen maßgebenden Faktoren abhängig. Wichtige Entscheidungskriterien sind sicherlich der hierfür zu **erbringende Aufwand** sowie die **Sicherheit der Zielerreichung**.

Mindestens diese beiden Kriterien sprechen für die an der Justus-Liebig-Universität erarbeitete Lösung.

5 Zusammenfassung und Anhang

5.1 Zusammenfassung

Für die Anatomiesäle der Justus-Liebig-Universität sollte eine Lösung erarbeitet werden, welche die Formaldehydbelastung in der Atemluft unter die Arbeitsplatzgrenzwerte oder besser unter den 25 %igen Stoffindex senkt.

Ausgehend von der ursprünglichen Situation mit mehrfacher Überschreitung dieser Grenzwerte wurden Methoden gesucht und auch gefunden, die hierfür in Frage kommen.

Eine übliche Vorgehensweise, den Luftschadstoff Formaldehyd mittels direkt abgesaugter Tische als einen ersten Schritt zu minimieren war, in den Präparationshallen nicht umsetzbar.

Über Betrachtungen der Luftströmungen im persönlichen Atembereich wurden Lösungen gefunden, die hier vorliegende Anreicherung mit Formaldehyd über den Spenderkörper zu minimieren. Hierbei spielt der durch Körpertemperatur entstehende Luftauftrieb eine große Rolle. Aufgrund in den Präparationshallen vorherrschenden kühlen Temperaturen steigt wegen der warmen Haut- oder Kleidungsoberfläche Luft an den Personen vom Boden entlang des Körpers auf. In den meisten Fällen werden Präparationshallen mittels Mischlüftung gelüftet. Hierbei ist die Formaldehydverteilung in der Hallenluft überall in der Halle ähnlich. Das bedeutet, abseits der Präparationstische entspricht die am Körper aufsteigende Luft etwa der Luftqualität der gesamten Halle. Aufgrund von etwa achtfachem Luftwechsel pro Stunde in der Präparationshalle sind die Messungen abseits vom Präparationstisch in den meisten Fällen nicht problembehaftet.

Für die am Präparationstisch stehenden Personen reicht sich die aufsteigende Hallenluft mit den Formaldehydemissionen des auf dem Tisch liegenden Körperspenders an. Durch weiteres Aufsteigen in den persönlichen Atembereich der am Tisch stehenden Personen wird diese Luft zur Atemluft der Personengruppe.

Es wurde gezeigt, dass es mittels einer hierfür entwickelten und optimierten Düsenblasanlage möglich ist, die aufsteigenden Luftströme im Bereich des persönlichen Atembereiches weitestgehend zu unterdrücken. Weiterhin mit der über dem Tisch nach unten fließenden Luftmenge den Spenderkörper zu umspülen und so die Formaldehydemission des Körpers stark zu verdünnen. Über dieses Prinzip ist es möglich, Formaldehydreduzierungen im persönlichen Atembereich von -53 % bis -74 % zu erreichen. Das hier vorgestellte System ist in vielen Fällen in der Lage die AGW einzuhalten. Weiterhin wurde eine deutliche Annäherung der Einzelmesswerte am Präparationstisch bei Verwendung dieses Systems festgestellt. Lagen zu Beginn der Messungen Unterschiede an einem Tisch teilweise bei über 200 %, so vergleichmäßigten sich diese auf geringe Unterschiede in einem Bereich von kleiner als 25 %. Mit kleinen Abweichungen der Messergebnisse an einem Tisch, wurde eine weitere Sicherheit der Methode erreicht. Gleiche Arbeiten am Tisch bringen gleiche Messergebnisse.

Um einen möglichst großen Sicherheitsabstand zum AGW zu erhalten, wurden die Spenderkörper parallel mittels InfurtraceTM-Unterspritzung vorbereitet.

Auch über diese Methode wurde eine deutliche Herabsetzung der Formaldehydbelastung der Atemluft erreicht.

Die Kombination beider Methoden ergibt für den Anwender aber auch für den Präparationssaalverantwortlichen eine rechtliche Sicherheit sowie den nötigen deutlichen Abstand zum derzeit bestehenden Grenzwerten. Anfangs gemessene Formaldehydwerte von über 2 mg/m^3 konnten sicher unter den bestehenden Arbeitsplatzgrenzwert sowie den 25 %igen Stoffindex für Formaldehyd gesenkt werden.

5.2 Summary

For legal reasons the pollution with formaldehyde emitted by body donors of the ambient air as well as of the breathing air in the gross anatomy lab of the Justus-Liebig-University had to be reduced below the occupational exposure limits and below 25 % of the so called Stoffindex. As the permissive emission level had been reduced to 0.37 mg/m^3 both limits were exceeded. A new method had to be developed to solve this problem. A common approach to minimize the formaldehyde air pollution is the use of directly exhausted tables. Due to architectural prerequisites such a system was not applicable to the gross anatomical lab. Taking into account the air currents in the personal breathing area, solutions have been developed to minimize the accumulation of formaldehyde over the donor body. Each person standing at the dissection table enhances the thermal uplift which plays a major role by inducing formaldehyde polluted air to rise and reach the breathing air zone. The dissection hall is ventilated by a mixing ventilation. Thus, the formaldehyde distribution in the air of the hall is similar throughout the hall. This means that, apart from the area directly around the dissection table, the air rising from the body approximately corresponds to the air quality of the entire hall. Due to an air change of about eight times per hour in the dissection hall, the values of formaldehyde concentration in the ambient air between the tables are in no case problematic.

For the persons standing on the dissection table, the rising indoor air enriches with the formaldehyde emissions of the body donor lying on the table. By further ascending into the breathing area of the persons standing at the table, this air becomes the respiratory air of these persons. To avoid a high formaldehyde concentration in the breathing air a newly constructed nozzle system which directs air on the surface of the dissection table was developed.

The results clearly demonstrate that the optimized system of three long throw nozzles adapted to supply a directed air flow on to the body donor's surface efficiently suppresses the ascending of emitted formaldehyde. Thus, the personal breathing area almost was kept clean from emitted formaldehyde, which in addition was diluted by the air flow. The emitted formaldehyde is pushed downwards from the table, where it can be removed by the regular exhaust system of the room. This newly developed system makes it possible to reduce formaldehyde in the personal breathing area in the range of -53 % to -74 %. The three long throw nozzle system presented here is in some cases able to just keep the. Furthermore, the measured values are reproducible and display nearly no variations in absolute values.

To maintain a safe distance to the PEL, the donor bodies were treated with InfutraceTM by surface application of an 11 % solution and by multiple injections with a 20 % solution of Infutrace. This method also significantly reduced the respiratory air exposure to formaldehyde.

The combination of both methods provides legal security for the students and teachers for keeping the PEL - the occupational exposure limit - and the 25 percent 'Stoffindex' of formaldehyde.

5.3 Anhang

5.3.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Luftströmungen an warmen oder kalten Körpern.....	6
Abbildung 2: Schema isothermer Freistrah (abgeändert Grundlage nach) (Laakso 1976, S. 151)	9
Abbildung 3: Schema Außenluftaufbereitung, Quelle: Hieke	10
Abbildung 4: Schema Zu- Abluftversorgung des Präparationssaals, Quelle: Hieke	11
Abbildung 5: Versuchsexemplar der Düsenblasanlage, Quelle: Hieke	20
Abbildung 6: Versuchseinzeldüse zur Positionierung an Hubbühne montiert, Quelle: Hieke....	21
Abbildung 7: Orientierende FA Messung bei Betrieb der Versuchseinzeldüse, Quelle: Hieke...	21
Abbildung 8: Schema Strömungsaufbau über einen Standventilator, Quelle: Hieke	23
Abbildung 9: Prinzip der Verdrängungsströmung in reinen Räumen, Quelle: Hieke.....	24
Abbildung 10: Schema Luftströmung im Reinraumzelt, Quelle: Hieke.....	25
Abbildung 11: Strömungsdarstellung mit Rauchfaden, Quelle: Hieke.....	37
Abbildung 12: Luftgeschwindigkeiten in der Halle bei etwa 1.8m Höhe, Quelle: Hieke.....	38
Abbildung 13: Strömungsdarstellung mit Düse, der Rauchfaden bleibt über dem Spenderkörper und steigt nicht nach oben, Quelle: Hieke	40
Abbildung 14: Präparationsarbeiten mit Strömungsaufbau über einen Standventilator, Quelle: Hieke.....	41
Abbildung 15: Ansicht Reinraumzelt und Platzbedarf mit Gebläse, Quelle: Hieke.....	43
Abbildung 16: Versuchsaufbau im Reinraumzelt, Quelle: Hieke	43
Abbildung 17: Höhenschnitt Düsenblasanlage, Quelle: Hieke.....	45
Abbildung 18: : Seitenansicht Düsenblasanlage mit skizzierter Luftstrahlabdeckung des Spenderkörpers auf dem Präparationstisch, Quelle: Hieke	46
Abbildung 19: Ansicht Düsenblasanlage an einem Tisch, Quelle: Hieke.....	47
Abbildung 20: Arbeiten unter der Düsenblasanlage, Quelle: Hieke	48
Abbildung 21: Präparationssaal Ost mit Düsenblaseinrichtungen.....	56
Abbildung 22: Probennahme Person und Stativ	57
Abbildung 23: Praktikum 24.04.2017, Quelle: Hieke	73
Abbildung 24: Grundriss Präparationssaal West.....	100
Abbildung 25: Mögliche Messwertstreuung	102

Abbildung 26: Strömungsgeschwindigkeiten über Tisch 1, Quelle: Hieke	104
Abbildung 27: Strömungsgeschwindigkeiten über Tisch 2, Quelle: Hieke	105
Abbildung 28: Strömungsgeschwindigkeiten über Tisch 3, Quelle: Hieke	106
Abbildung 29: Strömungsgeschwindigkeiten über Tisch 4, Quelle: Hieke	107
Abbildung 30: Strömungsgeschwindigkeiten über Tisch 5, Quelle: Hieke	108
Abbildung 31: Strömungsgeschwindigkeiten über Tisch 6, Quelle: Hieke	109
Abbildung 32: Strömungsgeschwindigkeiten über Tisch 7, Quelle: Hieke	110
Abbildung 33: Strömungsgeschwindigkeiten über Tisch 8, Quelle: Hieke	111
Abbildung 34: Strömungsgeschwindigkeiten über Tisch 9, Quelle: Hieke	112
Abbildung 35: Strömungsgeschwindigkeiten über Tisch 10, Quelle: Hieke	113
Abbildung 36: Strömungsgeschwindigkeiten über Tisch 11, Quelle: Hieke	114
Abbildung 37: Strömungsgeschwindigkeiten über Tisch 12, Quelle: Hieke	115
Abbildung 38: Strömungsgeschwindigkeiten über Tisch 17, Quelle: Hieke	116
Abbildung 39: Strömungsgeschwindigkeiten über Tisch 18, Quelle: Hieke	117
Abbildung 40: Strömungsgeschwindigkeiten über Tisch 19, Quelle: Hieke	118
Abbildung 41: Strömungsgeschwindigkeiten über Tisch 20, Quelle: Hieke	119
Abbildung 42: Strömungsgeschwindigkeiten über Tisch 21, Quelle: Hieke	120
Abbildung 43: Strömungsgeschwindigkeiten über Tisch 22, Quelle: Hieke	121
Abbildung 44: Strömungsgeschwindigkeiten über Tisch 23, Quelle: Hieke	122
Abbildung 45: Strömungsgeschwindigkeiten über Tisch 24, Quelle: Hieke	123
Abbildung 46: Strömungsgeschwindigkeiten über Tisch 25, Quelle: Hieke	124
Abbildung 47: Strömungsgeschwindigkeiten über Tisch 26, Quelle: Hieke	125
Abbildung 48: Strömungsgeschwindigkeiten über Tisch 27, Quelle: Hieke	126
Abbildung 49: Strömungsgeschwindigkeiten über Tisch 28, Quelle: Hieke	127
Abbildung 50: Turbulenz an einem Beispielmesspunkt, Quelle: Hieke	128
Abbildung 51: Meßwertzusammenfassung und Mittelwerte	129
Abbildung 52: Signalworte Gefahr (Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) (2018), S. 19)	130
Abbildung 53: ASR Kennzeichnung (Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) (2018), S. 21)	132

5.3.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Materialaufstellung Einzeldüse	22
Tabelle 2: Materialaufstellung Standventilator.....	23
Tabelle 3: Materialaufstellung Reinraumzelt	26
Tabelle 4: Materialaufstellung Düsenblasanlage	27
Tabelle 5: Formaldehydmessung Körper 26-16 vom 31.08.2016	52
Tabelle 6: Formaldehydmessung Körper 3-16 vom 31.08.2016	53
Tabelle 7: Formaldehydmessung Probe ID 2-15 vom 31.08.2016	54
Tabelle 8: Formaldehydmessung Probe ID 18-15 vom 31.08.2016	54
Tabelle 9: Raumlufmessungen 08.12.2016, Vergleich zu AGW	59
Tabelle 10: Mittelwert und Standardabweichung Tische	61
Tabelle 11: Raumlufmessungen vom 08.12.2016, Vergleich der einzelnen Stoffindices. Überschreitungen sind mit rot markiert.	63
Tabelle 12: : Raumlufmessungen 16.02.2017, Vergleich zu AGW	67
Tabelle 13: Mittelwerte und Standardabweichungen der am 16.02.2017 gemessenen Tische.	68
Tabelle 14: Raumlufmessungen 16.02.2017, Vergleich zum Stoffindex.....	71
Tabelle 15: Messwerte vom 27.04.2017 in Bezug zum Arbeitsplatzgrenzwert	77
Tabelle 16: Messungen 16.02.2017, Mittelwert und Standardabweichung Tische.....	79
Tabelle 17: Raumlufmessungen vom 27.04.2017, Vergleich zum Stoffindex.....	82

5.3.3 Abkürzungsverzeichnis

1D	einmal der Durchmesser
AGW	Arbeitsplatzgrenzwert
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Airconditioning Engineers
ASR	Technische Regeln für Arbeitsstätten
BPV	Biozidprodukte-Verordnung
C	Konzentration (hier Formaldehyd)
CAS	Chemical Abstracts Service
CLP	Classification, Labeling and Packaging
DIN	Deutsches Institut für Normung
DN	Diameter nominal
EC	Electronical Commutation
EU	Europäische Union
F	Minderungsfaktor aufgrund abweichender Expositionszeit
F7	Qualitätsangabe Filter nach EN 779:2012
FA	Formaldehyd
g/h	Gramm pro Stunde
GefStoffV	Gefahrstoffverordnung
GW	Grenzwert, hier Formaldehyd
h	Stunde
hPa	Hektopascal
I	Stoffindex
JLU	Justus-Liebig-Universität
K	Schadstoffstrom
k_A	Schadstoffkonzentration der Außenluft
KMR	karzinogen, mutagen, reproduktionstoxisch
k_R	Schadstoffkonzentration der Raumluft
KS	Körperspender
LW	Luftwechsel pro Stunde
m/s	Meter pro Sekunde
m/S	Meter pro Sekunde
$m^3/(h \cdot m^2)$	Kubikmeter pro Stunde und Quadratmeter
m^3/h	Kubikmeter pro Stunde
M	Mol
Muta	Keimzell-Mutagenität, Gefahrenklasse
Pa	Pascal
ppb	parts per billion
ppm	parts per million
r.F.	relative Feuchte
TRGS	Technische Regeln für Gefahrstoffe
UEG	Untere Explosionsgrenze
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VMR	Volumenstrom Messeinrichtung
ZVG	eine in der Datenbank von GESTIS intern verwendete Nummer

5.4 Grundrisszeichnung Präpariersaal West

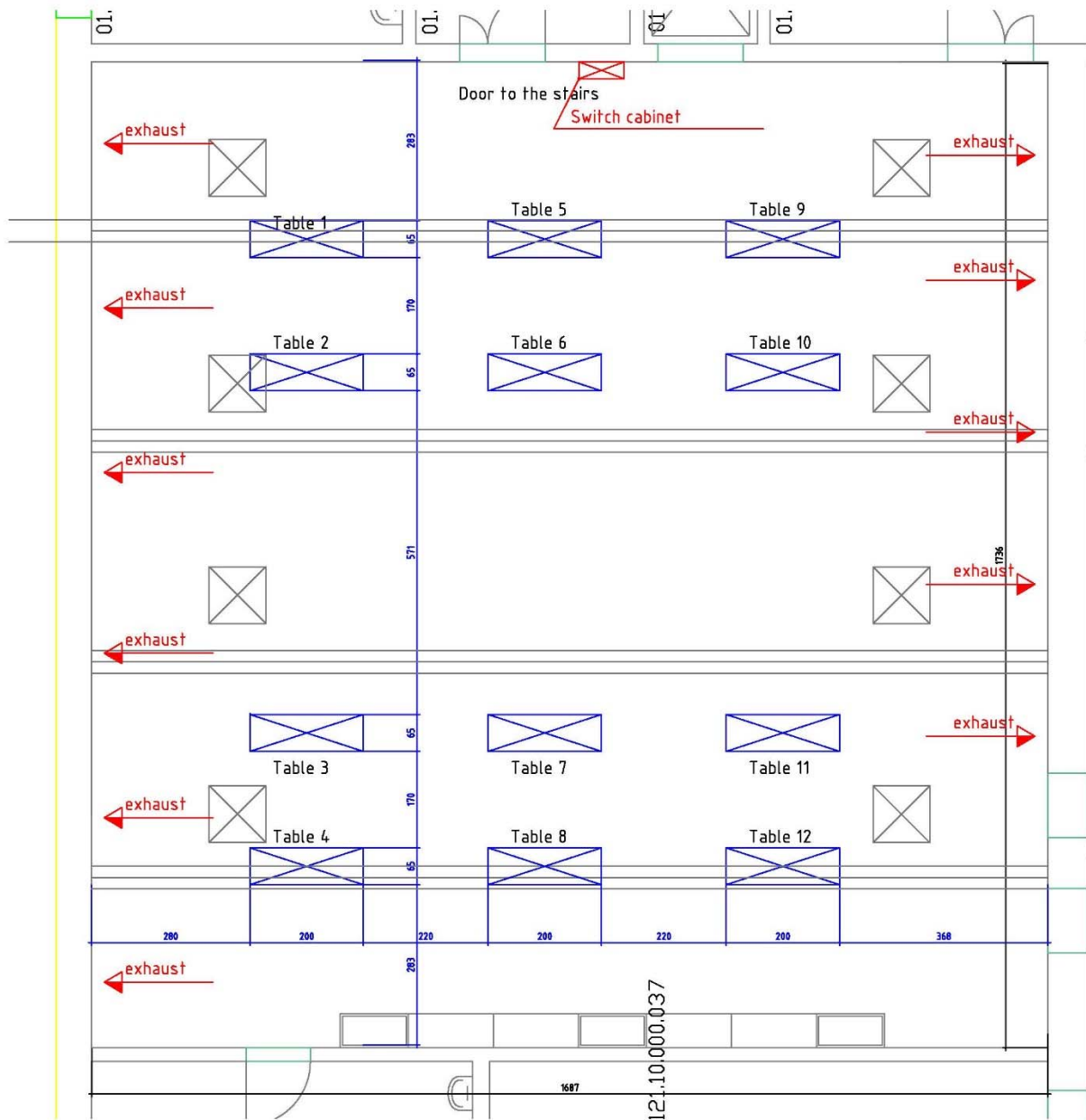


Abbildung 24: Grundriss Präparationssaal West

Abbildung 24 zeigt den Grundriss von Präpariersaal West. Die Aufstellung der Tische sowie die anderen baulichen und technischen Komponenten sind im Präpariersaal Ost gleich, jedoch spiegelbildlich zur Treppenhausseite ausgebildet. Aus diesem Grund wird auf eine Grundrissabbildung dieses Raumes verzichtet.

5.4.1 Vorgabe optimierte Infutracebehandlung zu den Messungen 3.7 bis 3.9

Diese Ausarbeitung wurde von Frau Prof. Dr. Wimmer übernommen und dient zur Vollständigkeit dieser Arbeit:

Benötigte Lösungen:

20 %ige Infutrace Lösung, entspricht 1 l Infutrace gemischt mit 4 l demineralisiertem Wasser (MilliQ)

11 %ige Infutrace Lösung, entspricht 0.55 l Infutrace gemischt mit 4.45 l Wasser (MilliQ)

Behandlung:

Die zu unterschiedlichen Zeiten fixierten Spenderkörper wurden mit einer 20 % Infutrace Lösung an multiplen Stellen engmaschig unterspritzt. Dies erfolgte in das subcutane Fettgewebe sowie in die subfasciale Muskulatur.

Pro Präparat liegt verwendete Volumen bei etwa 2.5 bis 3 l.

In die großen Körperhöhlen Brustsitus und Abdomen werden jeweils an verschiedenen Injektionsorten insgesamt je 100ml 20 % Infutrace injiziert.

Die äußere Oberfläche wird mit einer 11 %igen Infutrace Lösung abgesprüht.

Diese Lösung wird ebenso zum Befeuchten der Präparate benutzt und je nach Präparationsfortschritt zur Bindung von freigesetztem Formaldehyd eingesetzt.

Lagerung:

Die Lagerung der Spenderkörper bis zum Einsatz im Präparierkurs erfolgt eingeschweißt in Foliensäcken zusammen mit etwa 1 l 2 %igem Terralin oder in einer Küvette mit 2 % Terralinlösung.

5.4.2 Einregulierung und Messung der Düsenblasanlage in Präpariersaal West und Ost

Neben der optimalen Vorbereitung der Körperspender für die jeweiligen Präparationspraktika ist es unerlässlich, die für die Ausarbeitung ermittelte Justierung der Düsenblasanlage sicherzustellen.

Zu Beginn der Versuchsreihen wurde versucht, den Abgleich der Systeme über Messung des Downflows im Kernbereich der Düsen über den Tischen herzustellen. Die Messungen wurden hierbei mit einem Hitzdrahtanemometer durchgeführt. Aufgrund von sehr turbulenten Strömungen war das Messergebnis zwischen den einzelnen Tischen, obwohl von gleichen lufttechnischen Betriebspunkten ausgegangen wurde, nicht sinnvoll zu vergleichen.

Als Beispiel für die mögliche Streuung der zu messenden Werte an einem gleichbleibenden Messpunkt über der Tischmitte wurde über drei Minuten je Sekunde ein Messwert über der Tischmitte aufgenommen und in Abbildung 25 dargestellt.

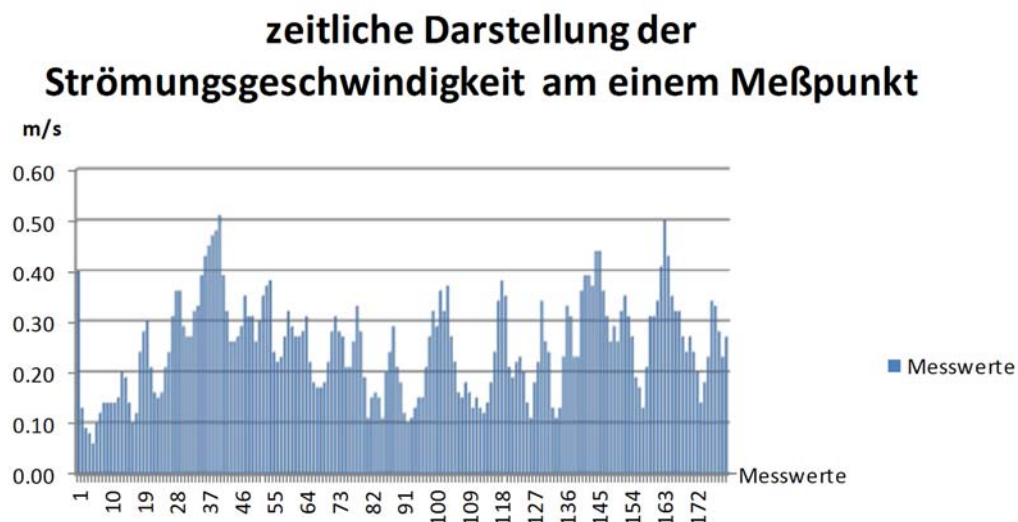


Abbildung 25: Mögliche Messwertstreuung

Es wird erkennbar, dass sich an gleicher Stelle Messergebnisse zwischen 7 cm/s und 50 cm/s ergeben können.

Um die Einregulierung der 24 Präparationstische möglichst gleich herstellen zu können und parallel dazu eine Kontrolle über die Strömungsgeschwindigkeiten über den Tischen zu erhalten, wurde das messtechnische Vorgehen dieser Situation angepasst:

Bei Verwendung von gleichen Düsen, gleichen Hallentemperaturen, gleichen Zulufttemperaturen, hier aufgrund der Luftentnahme aus der Halle weitestgehend isotherm zur Halle, gleichen Tischabständen zwischen Düse und Tisch, ist der Downflow nur noch abhängig von der Düsenaustrittsgeschwindigkeit.

Dies ist im Bereich vor der Düse jedoch nicht genau genug zu messen.

Da die Austrittsgeschwindigkeit abhängig vom Düsenvordruck ist und der Druck in der Düse einfach und mit guter Genauigkeit gemessen werden kann, ist hiermit ein Vergleichskriterium gefunden.

Als zusätzliches Vergleichskriterium soll die Downflowmessung über den Tischen beibehalten werden. Um verlässlichere Ergebnisse zu erlangen, wird statt der bisherigen drei Messpunkte im Kernströmungsbereich, ein Messraster über den gesamten Tisch verwendet. Hierfür werden mittels einer Papierschablone 20x20 cm Raster gebildet. Mit zehn Rastern waagrecht und vier Rastern senkrecht zur Tischlängskante ergeben sich vierzig Raster. Als Messstelle wird jeweils die Mitte des Rasters verwendet.

Die sich ergebenden Strömungsgeschwindigkeiten werden zur optischen Orientierung in einem Balkendiagramm aufgetragen.

Zur Kontrolle des Einregulierungserfolges werden verglichen:

- Der einzelne Düsenvordruck sowie der sich hieraus ergebende Mittelwert
- Die mittlere über das Raster / dem Tisch ermittelte Downflowgeschwindigkeit

Als optisch gut erkennbarer Wert wird aus der Downflowgeschwindigkeit noch der auf dem Tisch auftreffende Volumenstrom dargestellt.

Die oben genannten Kriterien sind in den Tabellen der Abbildung 26 bis Abbildung 49 dargestellt.

Hinsichtlich der Downflowmessungen ergaben sich wie erwartet höhere Geschwindigkeiten zur Tischlängsmittelachse, welche nach außen hin abnehmen. Schwerpunkte sind meist die jeweiligen Düsenkernstrahlen. In Abhängigkeit der Montagerichtung der Düsenanlage kann ein leicht nach links oder rechts verschobenes Strömungsbild beobachtet werden.

Mit Vordrücken der Einzeldüsen zwischen 23 Pa bis 29 Pa ergaben sich Mittelwerte bezogen auf die einzelne Düsenblasanlage von 22 Pa bis 27 Pa. Die daraus resultierende Downflowgeschwindigkeit liegt zwischen 0,22 m/s bis 0,29 m/s.

Im Mittel sind die Anlagen auf 25 Pa Düsenvordruck, 0,24 m/s Downflowgeschwindigkeit über dem Tisch und ein sich daraus ergebendes Downflowvolumen von 1.400 m³/h eingeregelt.

Im Zuge der mit der Firma Arguk Umweltlabor GmbH sowie dem RP Kassel als Meßstelle des Landes Hessen durchgeführten Messreihen konnten mit der getätigten Einstellung gute Ergebnisse bei der Formaldehydreduzierung der Atemluft am Präparationsstisch festgestellt werden.

Bei wiederkehrenden Anlagenwartungen sowie Nachregulierungen sind diese Werte bindende Referenz.

Die einzelnen Messwerte können den nachfolgenden Abbildungen Abbildung 26 bis Abbildung 49 oder zusammengefasst der Abbildung 51: Meßwertzusammenfassung und Mittelwerte entnommen werden.

Strömungsgeschwindigkeiten über Sektionstisch 1

Messraster: 20 cm / 20 cm, hier jeweils im Mittelpunkt des Quadrats
Messung der senkrechten Geschwindigkeitskomponente
richtungsabhängiger Fühler

Reihe 4	0,35	0,13	0,14	0,30	0,50	0,63	0,33	0,56	0,62	0,53 [m/s]
Reihe 3	0,24	0,15	0,23	0,17	0,26	0,47	0,43	0,45	0,41	0,44 [m/s]
Reihe 2	0,21	0,11	0,08	0,08	0,12	0,16	0,21	0,21	0,32	0,65 [m/s]
Reihe 1	0,10	0,07	0,05	0,07	0,11	0,16	0,16	0,17	0,21	0,18 [m/s]
Mittelwert	0,27 [m/s]			Vordruck Düsen:			23 [Pa]	24 [Pa]		28 [Pa]
	25 [Pa]									

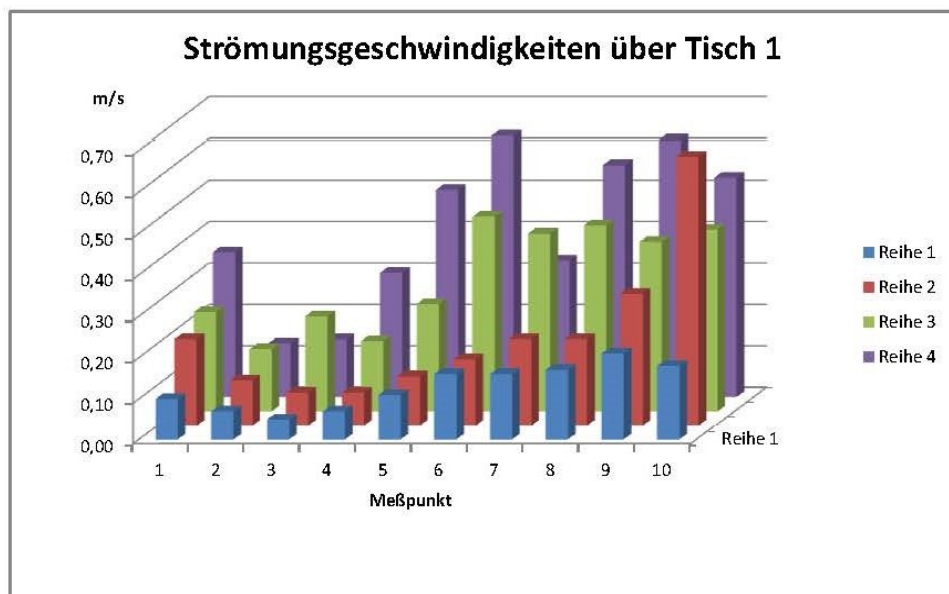


Abbildung 26: Strömungsgeschwindigkeiten über Tisch 1, Quelle: Hieke

Strömungsgeschwindigkeiten über Sektionstisch 2

Messraster: 20 cm / 20 cm, hier jeweils im Mittelpunkt des Quadrats
Messung der senkrechten Geschwindigkeitskomponente
richtungsabhängiger Fühler

Reihe 4	0,24	0,22	0,23	0,25	0,38	0,45	0,51	0,33	0,40	0,49 [m/s]
Reihe 3	0,16	0,23	0,33	0,42	0,31	0,38	0,45	0,48	0,26	0,25 [m/s]
Reihe 2	0,16	0,15	0,14	0,10	0,29	0,36	0,47	0,26	0,37	0,38 [m/s]
Reihe 1	0,14	0,08	0,14	0,15	0,15	0,19	0,24	0,24	0,16	0,15 [m/s]
Mittelwert	0,28 [m/s]			Vordruck Düsen:			24 [Pa]	24 [Pa]		28 [Pa]
	25 [Pa]									

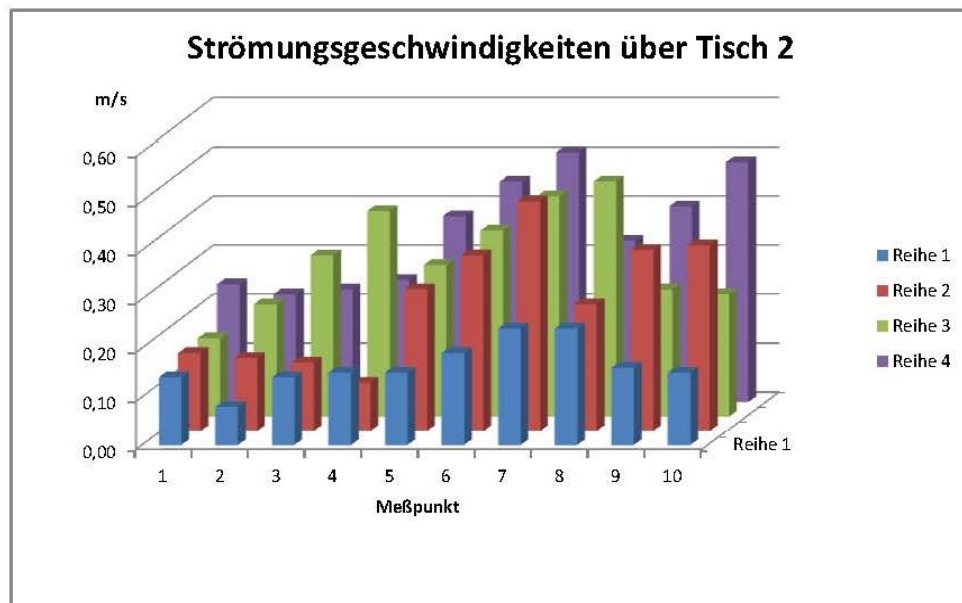


Abbildung 27: Strömungsgeschwindigkeiten über Tisch 2, Quelle: Hieke

Strömungsgeschwindigkeiten über Sektionstisch 3

Messraster: 20 cm / 20 cm, hier jeweils im Mittelpunkt des Quadrats

Messung der senkrechten Geschwindigkeitskomponente

richtungsabhängiger Fühler

Reihe 4	0,10	0,12	0,19	0,21	0,31	0,48	0,36	0,29	0,30	0,10 [m/s]
Reihe 3	0,24	0,18	0,27	0,24	0,27	0,34	0,43	0,34	0,18	0,15 [m/s]
Reihe 2	0,25	0,14	0,14	0,12	0,16	0,20	0,37	0,35	0,26	0,50 [m/s]
Reihe 1	0,16	0,09	0,12	0,09	0,14	0,16	0,17	0,16	0,30	0,27 [m/s]

Mittelwert	0,23 [m/s]	Vordruck Düsen:	24 [Pa]	24 [Pa]	26 [Pa]
	25 [Pa]				

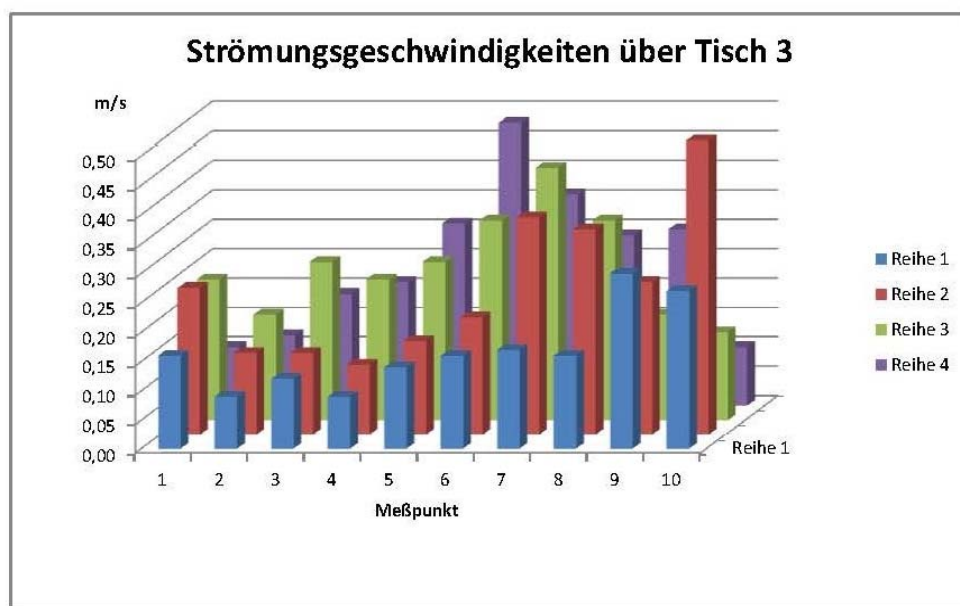


Abbildung 28: Strömungsgeschwindigkeiten über Tisch 3, Quelle: Hieke

Strömungsgeschwindigkeiten über Sektionstisch 4

Messraster: 20 cm / 20 cm, hier jeweils im Mittelpunkt des Quadrats
Messung der senkrechten Geschwindigkeitskomponente
richtungsabhängiger Fühler

Reihe 4	0,20	0,11	0,31	0,37	0,26	0,29	0,24	0,22	0,37	0,17 [m/s]
Reihe 3	0,12	0,11	0,25	0,28	0,36	0,36	0,44	0,29	0,31	0,48 [m/s]
Reihe 2	0,19	0,12	0,11	0,13	0,19	0,11	0,14	0,14	0,26	0,32 [m/s]
Reihe 1	0,31	0,10	0,09	0,30	0,19	0,14	0,20	0,27	0,40	0,30 [m/s]
Mittelwert	0,24 [m/s]			Vordruck Düsen:			24 [Pa]	23 [Pa]	29 [Pa]	
	25 [Pa]									

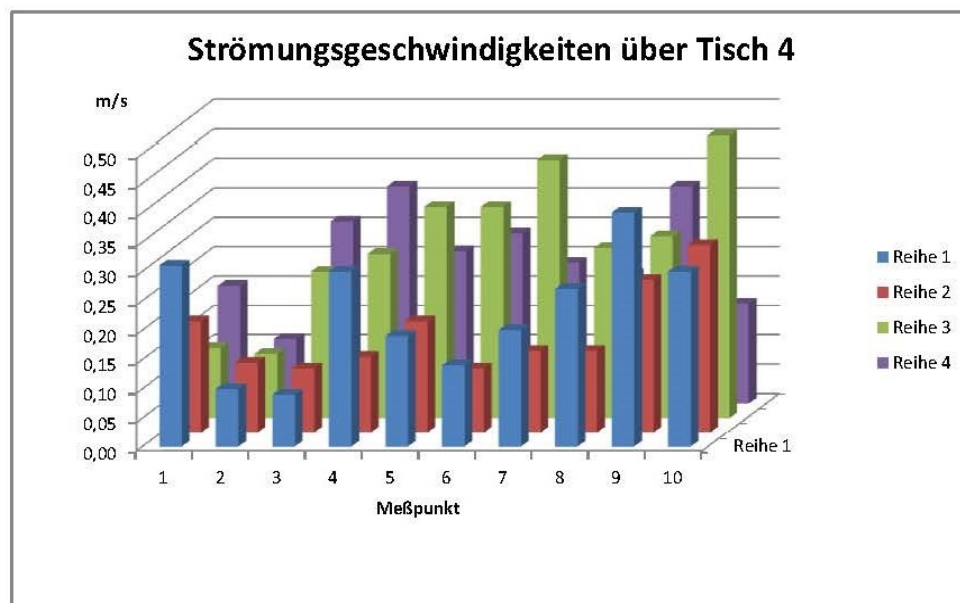


Abbildung 29: Strömungsgeschwindigkeiten über Tisch 4, Quelle: Hieke

Strömungsgeschwindigkeiten über Sektionstisch 5

Messraster: 20 cm / 20 cm, hier jeweils im Mittelpunkt des Quadrats
Messung der senkrechten Geschwindigkeitskomponente
richtungsabhängiger Fühler

Reihe 4	0,19	0,13	0,14	0,25	0,33	0,38	0,20	0,22	0,28	0,26 [m/s]
Reihe 3	0,14	0,13	0,14	0,22	0,26	0,32	0,27	0,33	0,32	0,27 [m/s]
Reihe 2	0,11	0,14	0,13	0,38	0,53	0,35	0,28	0,25	0,08	0,15 [m/s]
Reihe 1	0,12	0,12	0,16	0,19	0,14	0,16	0,27	0,27	0,17	0,18 [m/s]
Mittelwert	0,22 [m/s]			Vordruck Düsen:			23 [Pa]	26 [Pa]		29 [Pa]
	26 [Pa]									

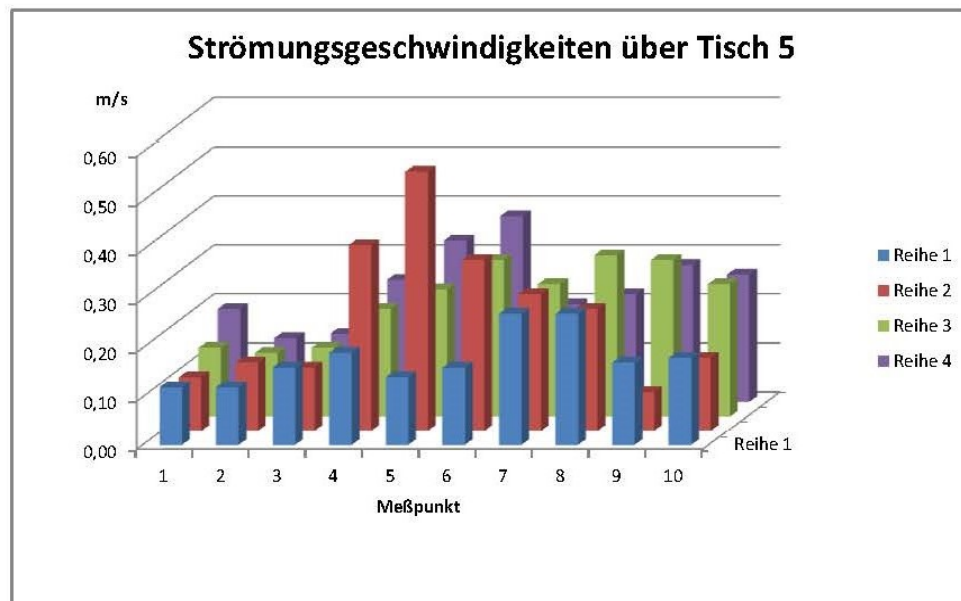


Abbildung 30: Strömungsgeschwindigkeiten über Tisch 5, Quelle: Hieke

Strömungsgeschwindigkeiten über Sektionstisch 6

Messraster: 20 cm / 20 cm, hier jeweils im Mittelpunkt des Quadrats
Messung der senkrechten Geschwindigkeitskomponente
richtungsabhängiger Fühler

Reihe 4	0,12	0,15	0,39	0,33	0,34	0,17	0,20	0,26	0,27	0,20 [m/s]
Reihe 3	0,18	0,10	0,19	0,36	0,38	0,30	0,28	0,22	0,29	0,16 [m/s]
Reihe 2	0,15	0,08	0,08	0,16	0,32	0,34	0,39	0,25	0,09	0,16 [m/s]
Reihe 1	0,10	0,04	0,07	0,10	0,12	0,27	0,30	0,40	0,21	0,13 [m/s]
Mittelwert	0,22 [m/s]			Vordruck Düsen:			24 [Pa]	26 [Pa]		29 [Pa]
	26 [Pa]									

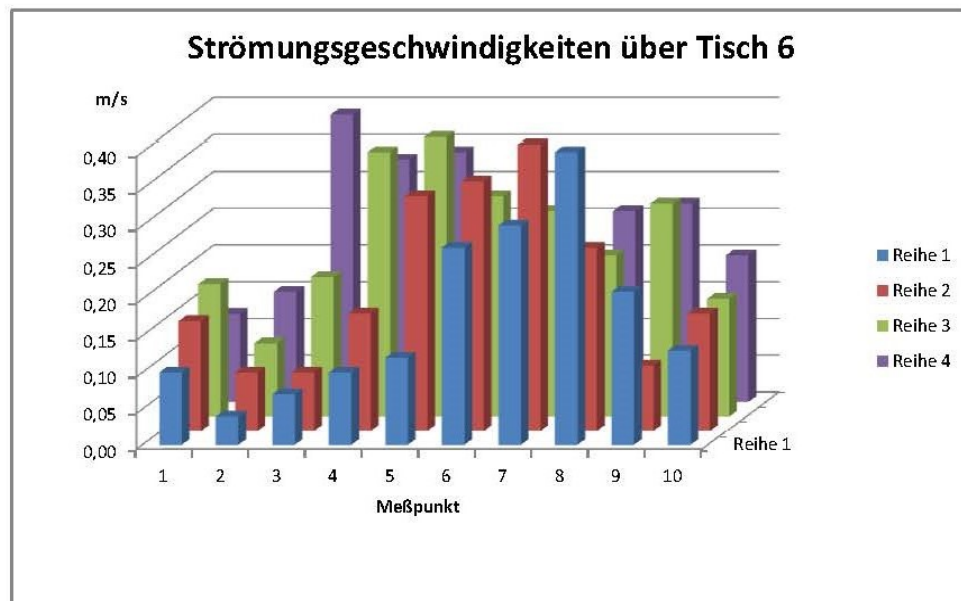


Abbildung 31: Strömungsgeschwindigkeiten über Tisch 6, Quelle: Hieke

Strömungsgeschwindigkeiten über Sektionstisch 7

Messraster: 20 cm / 20 cm, hier jeweils im Mittelpunkt des Quadrats

Messung der senkrechten Geschwindigkeitskomponente

richtungsabhängiger Fühler

Reihe 4	0,24	0,11	0,15	0,14	0,18	0,27	0,30	0,43	0,33	0,29 [m/s]
Reihe 3	0,27	0,16	0,16	0,19	0,34	0,37	0,25	0,22	0,22	0,24 [m/s]
Reihe 2	0,16	0,16	0,11	0,15	0,31	0,29	0,28	0,31	0,30	0,23 [m/s]
Reihe 1	0,14	0,14	0,23	0,27	0,21	0,17	0,25	0,38	0,41	0,27 [m/s]
Mittelwert	0,24 [m/s]									
	24 [Pa]									
				Vordruck Düsen:		23 [Pa]		24 [Pa]		26 [Pa]

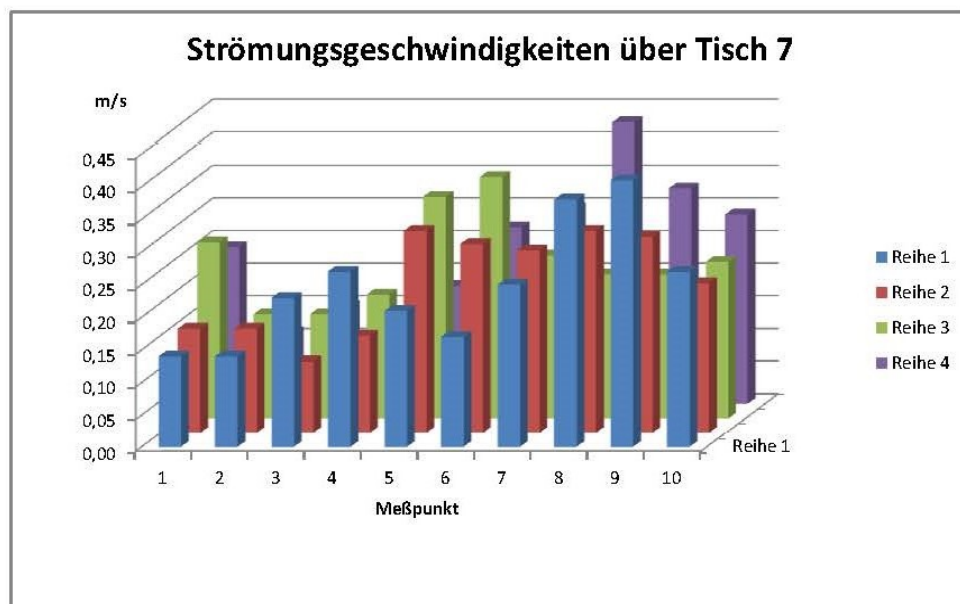


Abbildung 32: Strömungsgeschwindigkeiten über Tisch 7, Quelle: Hieke

Strömungsgeschwindigkeiten über Sektionstisch 8

Messraster: 20 cm / 20 cm, hier jeweils im Mittelpunkt des Quadrats

Messung der senkrechten Geschwindigkeitskomponente

richtungsabhängiger Fühler

Reihe 4	0,30	0,17	0,23	0,28	0,32	0,30	0,21	0,18	0,20	0,17 [m/s]
Reihe 3	0,25	0,07	0,18	0,41	0,21	0,23	0,27	0,14	0,19	0,33 [m/s]
Reihe 2	0,18	0,21	0,48	0,48	0,22	0,34	0,44	0,20	0,25	0,40 [m/s]
Reihe 1	0,08	0,15	0,21	0,21	0,23	0,22	0,15	0,14	0,16	0,26 [m/s]
Mittelwert	0,24 [m/s]									
	26 [Pa]									
				Vordruck Düsen:		24 [Pa]		26 [Pa]		29 [Pa]

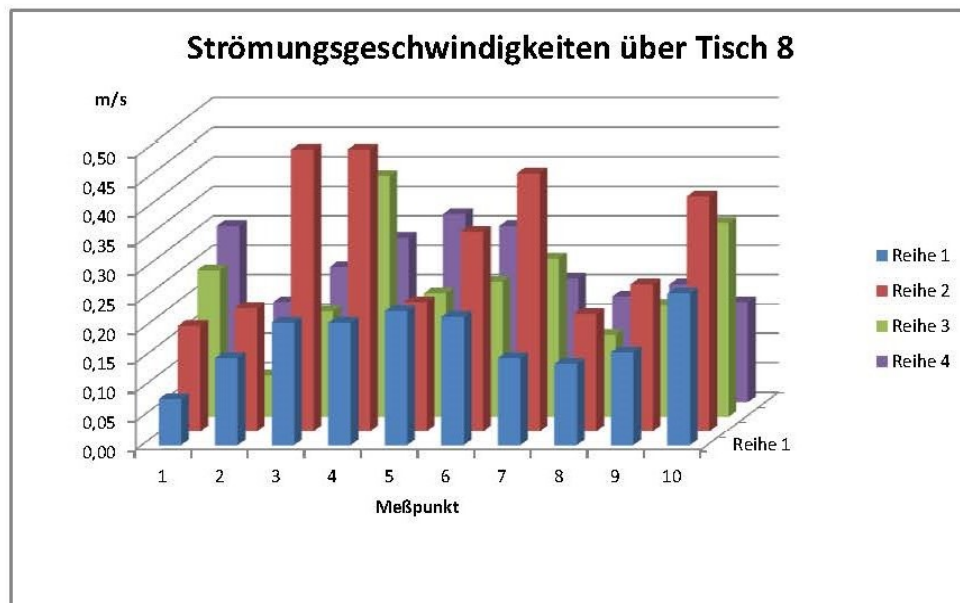


Abbildung 33: Strömungsgeschwindigkeiten über Tisch 8, Quelle: Hieke

Strömungsgeschwindigkeiten über Sektionstisch 9

Messraster: 20 cm / 20 cm, hier jeweils im Mittelpunkt des Quadrats
Messung der senkrechten Geschwindigkeitskomponente
richtungsabhängiger Fühler

Reihe 4	0,20	0,18	0,19	0,26	0,25	0,22	0,20	0,22	0,25	0,30 [m/s]
Reihe 3	0,19	0,15	0,29	0,46	0,36	0,24	0,39	0,39	0,20	0,26 [m/s]
Reihe 2	0,12	0,09	0,18	0,34	0,16	0,34	0,49	0,44	0,26	0,15 [m/s]
Reihe 1	0,24	0,13	0,29	0,31	0,23	0,19	0,11	0,18	0,19	0,13 [m/s]
Mittelwert	0,24 [m/s]			Vordruck Düsen:			25 [Pa]	26 [Pa]		29 [Pa]
	27 [Pa]									

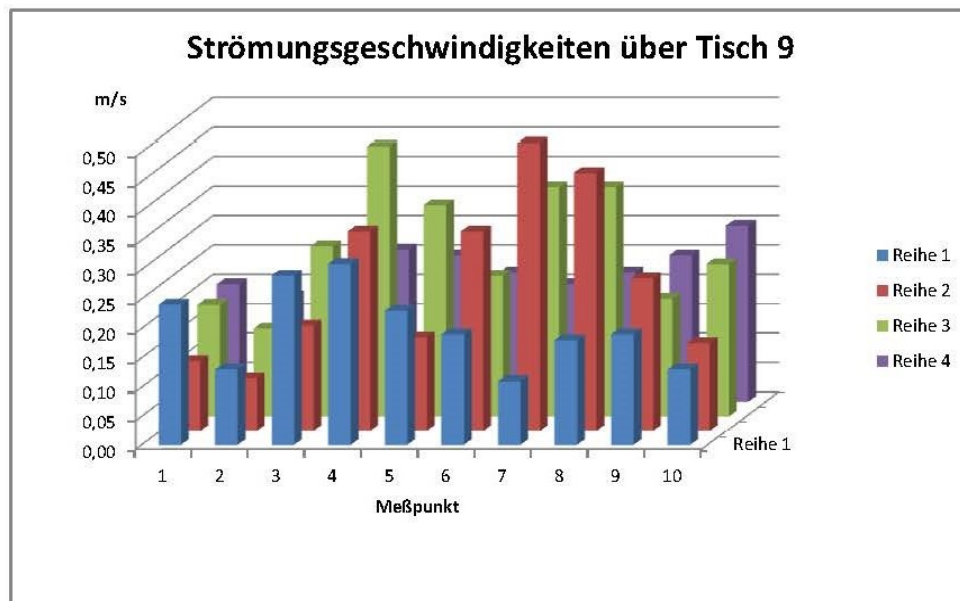


Abbildung 34: Strömungsgeschwindigkeiten über Tisch 9, Quelle: Hieke

Strömungsgeschwindigkeiten über Sektionstisch 10

Messraster: 20 cm / 20 cm, hier jeweils im Mittelpunkt des Quadrats

Messung der senkrechten Geschwindigkeitskomponente

richtungsabhängiger Fühler

Reihe 4	0,33	0,08	0,14	0,30	0,34	0,29	0,16	0,26	0,26	0,26 [m/s]
Reihe 3	0,20	0,14	0,17	0,21	0,23	0,29	0,30	0,35	0,30	0,25 [m/s]
Reihe 2	0,28	0,20	0,13	0,13	0,17	0,29	0,27	0,25	0,42	0,39 [m/s]
Reihe 1	0,22	0,16	0,22	0,34	0,26	0,21	0,28	0,39	0,29	0,26 [m/s]

Mittelwert	0,25 [m/s]	Vordruck Düsen:	23 [Pa]	25 [Pa]	28 [Pa]
	25 [Pa]				

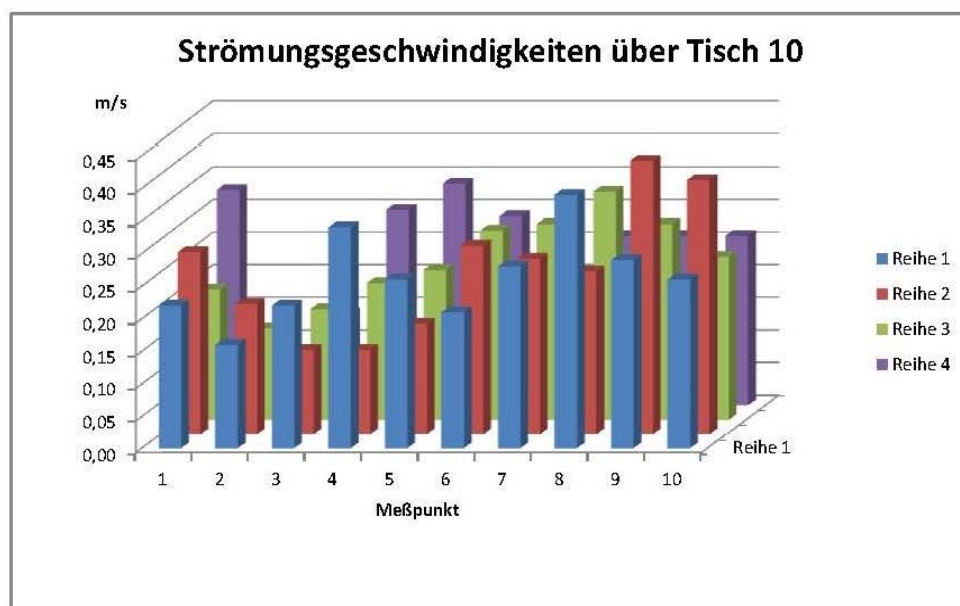


Abbildung 35: Strömungsgeschwindigkeiten über Tisch 10, Quelle: Hieke

Strömungsgeschwindigkeiten über Sektionstisch 11

Messraster: 20 cm / 20 cm, hier jeweils im Mittelpunkt des Quadrats

Messung der senkrechten Geschwindigkeitskomponente

richtungsabhängiger Fühler

Reihe 4	0,26	0,27	0,34	0,25	0,19	0,24	0,34	0,34	0,43	0,36 [m/s]
Reihe 3	0,13	0,12	0,17	0,23	0,29	0,26	0,30	0,23	0,31	0,45 [m/s]
Reihe 2	0,23	0,23	0,23	0,27	0,38	0,43	0,25	0,28	0,41	0,35 [m/s]
Reihe 1	0,08	0,34	0,31	0,26	0,21	0,26	0,43	0,41	0,29	0,26 [m/s]
Mittelwert	0,29 [m/s]				Vordruck Düsen:				24 [Pa]	
	25 [Pa]				25 [Pa]				27 [Pa]	

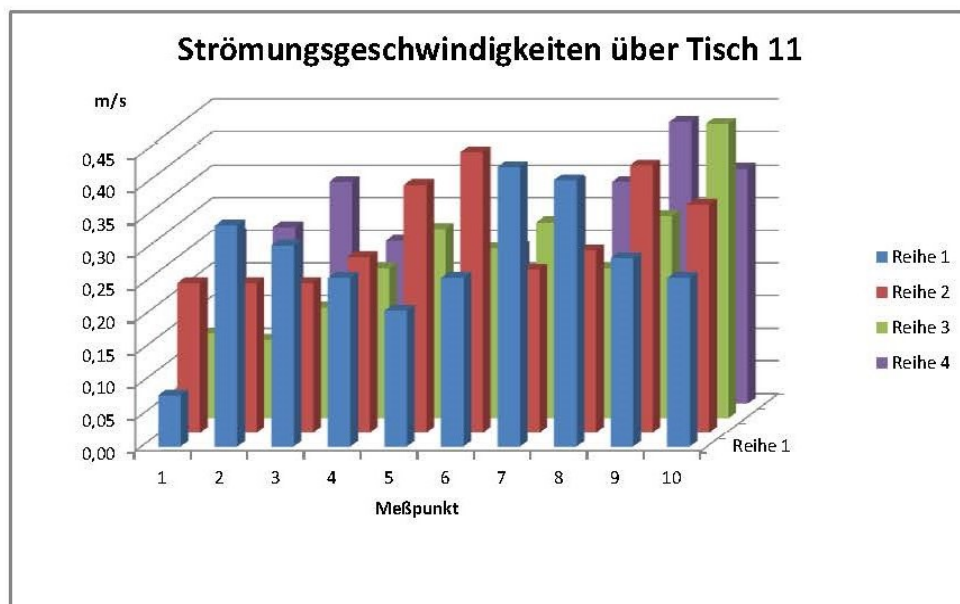


Abbildung 36: Strömungsgeschwindigkeiten über Tisch 11, Quelle: Hieke

Strömungsgeschwindigkeiten über Sektionstisch 12

Messraster: 20 cm / 20 cm, hier jeweils im Mittelpunkt des Quadrats
Messung der senkrechten Geschwindigkeitskomponente
richtungsabhängiger Fühler

Reihe 4	0,16	0,12	0,12	0,22	0,33	0,28	0,14	0,16	0,26	0,36 [m/s]
Reihe 3	0,17	0,22	0,27	0,23	0,19	0,15	0,21	0,20	0,24	0,22 [m/s]
Reihe 2	0,22	0,12	0,13	0,25	0,27	0,29	0,27	0,25	0,25	0,17 [m/s]
Reihe 1	0,08	0,09	0,11	0,21	0,22	0,31	0,33	0,39	0,38	0,28 [m/s]
Mittelwert	0,22 [m/s]			Vordruck Düsen:			23 [Pa]		26 [Pa]	28 [Pa]
	26 [Pa]									

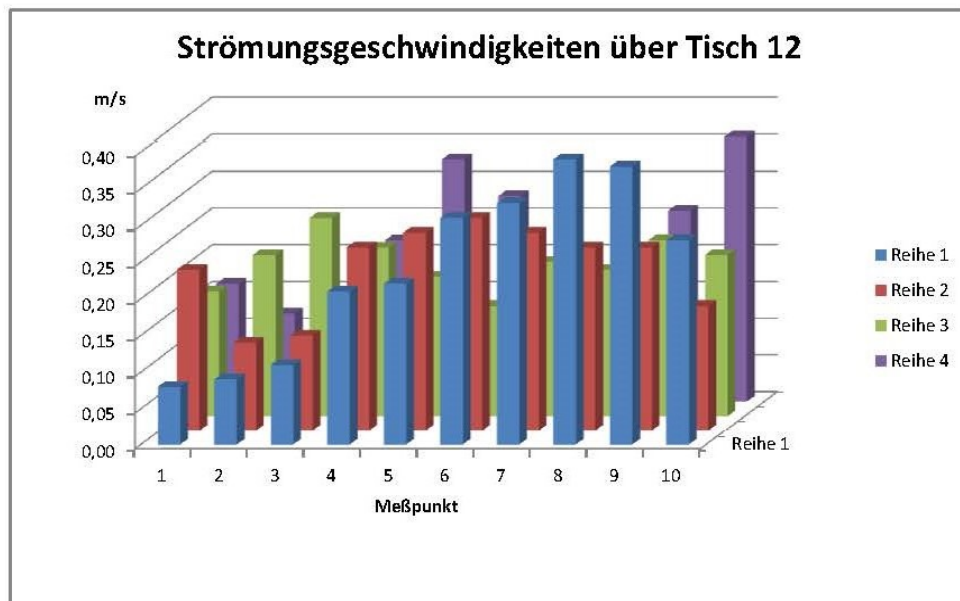


Abbildung 37: Strömungsgeschwindigkeiten über Tisch 12, Quelle: Hieke

Strömungsgeschwindigkeiten über Sektionstisch 17

Messraster: 20 cm / 20 cm, hier jeweils im Mittelpunkt des Quadrats

Messung der senkrechten Geschwindigkeitskomponente

richtungsabhängiger Fühler

Reihe 4	0,04	0,07	0,11	0,19	0,39	0,42	0,37	0,35	0,26	0,16 [m/s]
Reihe 3	0,11	0,10	0,19	0,27	0,49	0,43	0,36	0,32	0,51	0,41 [m/s]
Reihe 2	0,09	0,14	0,10	0,34	0,31	0,35	0,36	0,37	0,53	0,42 [m/s]
Reihe 1	0,19	0,22	0,43	0,27	0,42	0,40	0,27	0,39	0,14	0,09 [m/s]
Mittelwert	0,28 [m/s]			Vordruck Düsen:			23 [Pa]	22 [Pa]		28 [Pa]
	24 [Pa]									

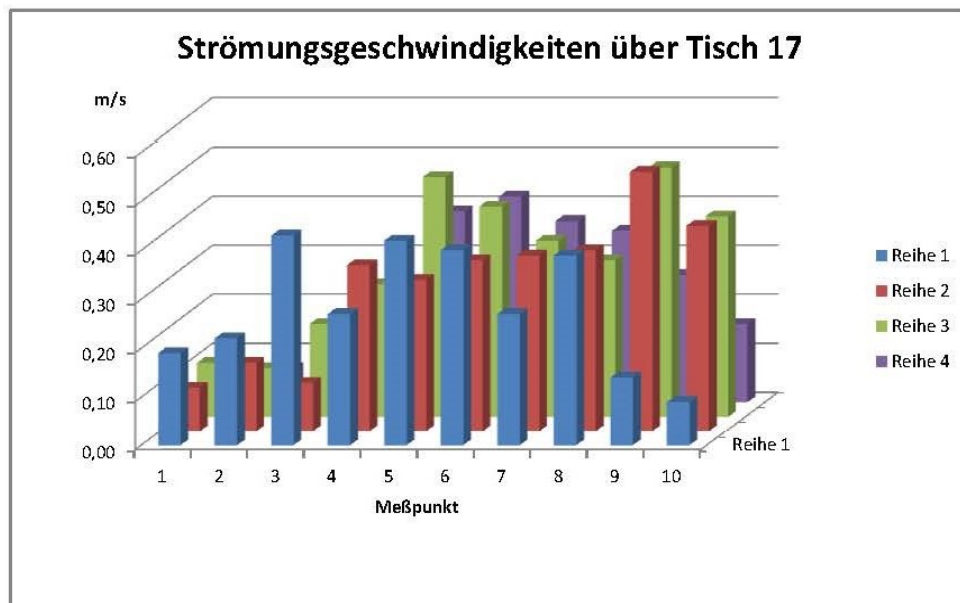


Abbildung 38: Strömungsgeschwindigkeiten über Tisch 17, Quelle: Hieke

Strömungsgeschwindigkeiten über Sektionstisch 18

Messraster: 20 cm / 20 cm, hier jeweils im Mittelpunkt des Quadrats
Messung der senkrechten Geschwindigkeitskomponente
richtungsabhängiger Fühler

Reihe 4	0,13	0,08	0,15	0,14	0,41	0,22	0,33	0,23	0,20	0,41 [m/s]
Reihe 3	0,09	0,07	0,18	0,21	0,24	0,22	0,17	0,41	0,36	0,41 [m/s]
Reihe 2	0,11	0,08	0,27	0,31	0,23	0,20	0,29	0,31	0,23	0,34 [m/s]
Reihe 1	0,14	0,22	0,19	0,45	0,48	0,58	0,32	0,18	0,23	0,16 [m/s]

Mittelwert	0,25 [m/s]	Vordruck Düsen:	23 [Pa]	23 [Pa]	27 [Pa]
	24 [Pa]				

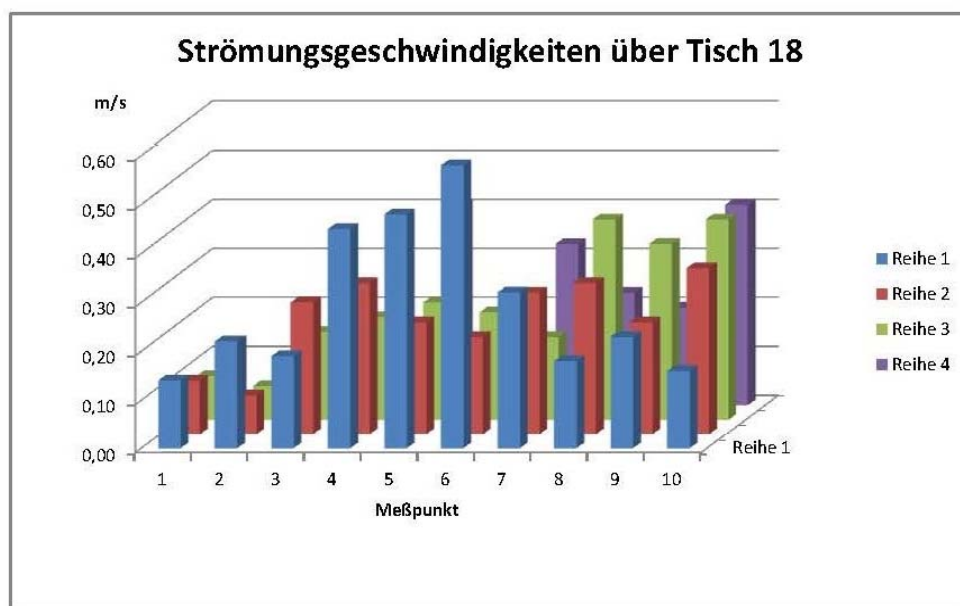


Abbildung 39: Strömungsgeschwindigkeiten über Tisch 18, Quelle: Hieke

Strömungsgeschwindigkeiten über Sektionstisch 19

Messraster: 20 cm / 20 cm, hier jeweils im Mittelpunkt des Quadrats

Messung der senkrechten Geschwindigkeitskomponente

richtungsabhängiger Fühler

Reihe 4	0,11	0,08	0,21	0,31	0,48	0,39	0,22	0,23	0,24	0,33 [m/s]
Reihe 3	0,07	0,07	0,07	0,23	0,44	0,37	0,27	0,23	0,52	0,25 [m/s]
Reihe 2	0,15	0,10	0,15	0,19	0,23	0,28	0,23	0,18	0,24	0,26 [m/s]
Reihe 1	0,16	0,12	0,18	0,12	0,33	0,23	0,23	0,17	0,12	0,14 [m/s]
Mittelwert	0,22 [m/s]			Vordruck Düsen:			25 [Pa]	26 [Pa]		28 [Pa]
	26 [Pa]									

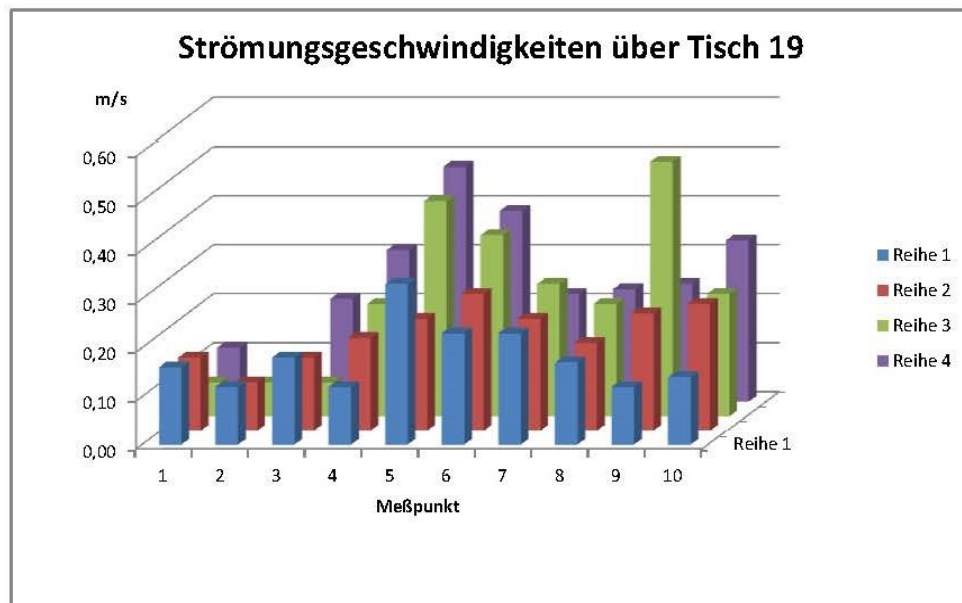


Abbildung 40: Strömungsgeschwindigkeiten über Tisch 19, Quelle: Hieke

Strömungsgeschwindigkeiten über Sektionstisch 20

Messraster: 20 cm / 20 cm, hier jeweils im Mittelpunkt des Quadrats

Messung der senkrechten Geschwindigkeitskomponente

richtungsabhängiger Fühler

Reihe 4	0,14	0,13	0,11	0,18	0,29	0,33	0,34	0,39	0,32	0,22 [m/s]
Reihe 3	0,08	0,11	0,21	0,24	0,31	0,33	0,34	0,38	0,40	0,38 [m/s]
Reihe 2	0,19	0,10	0,14	0,13	0,15	0,37	0,19	0,28	0,33	0,40 [m/s]
Reihe 1	0,11	0,22	0,24	0,35	0,39	0,44	0,14	0,17	0,24	0,29 [m/s]
Mittelwert	0,25 [m/s]			Vordruck Düsen:			25 [Pa]	23 [Pa]		27 [Pa]
	25 [Pa]									

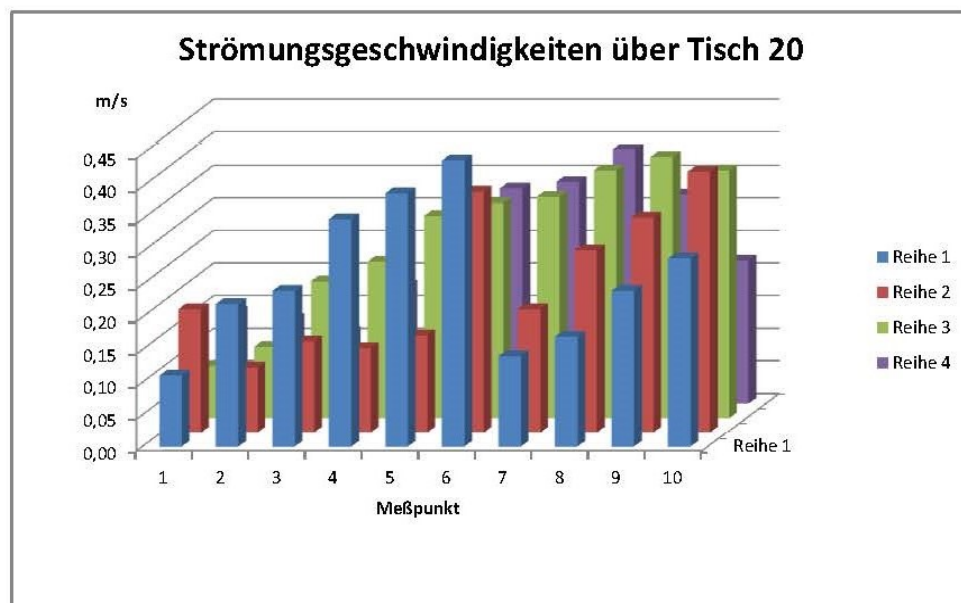


Abbildung 41: Strömungsgeschwindigkeiten über Tisch 20, Quelle: Hieke

Strömungsgeschwindigkeiten über Sektionstisch 21

Messraster: 20 cm / 20 cm, hier jeweils im Mittelpunkt des Quadrats

Messung der senkrechten Geschwindigkeitskomponente

richtungsabhängiger Fühler

Reihe 4	0,21	0,23	0,31	0,19	0,14	0,13	0,16	0,19	0,24	0,12 [m/s]
Reihe 3	0,21	0,25	0,22	0,27	0,20	0,31	0,26	0,33	0,38	0,39 [m/s]
Reihe 2	0,14	0,19	0,23	0,24	0,14	0,32	0,51	0,25	0,33	0,20 [m/s]
Reihe 1	0,16	0,10	0,13	0,20	0,31	0,19	0,27	0,36	0,26	0,17 [m/s]
Mittelwert	0,24 [m/s]			Vordruck Düsen:			19 [Pa]	23 [Pa]	25 [Pa]	
	22 [Pa]									

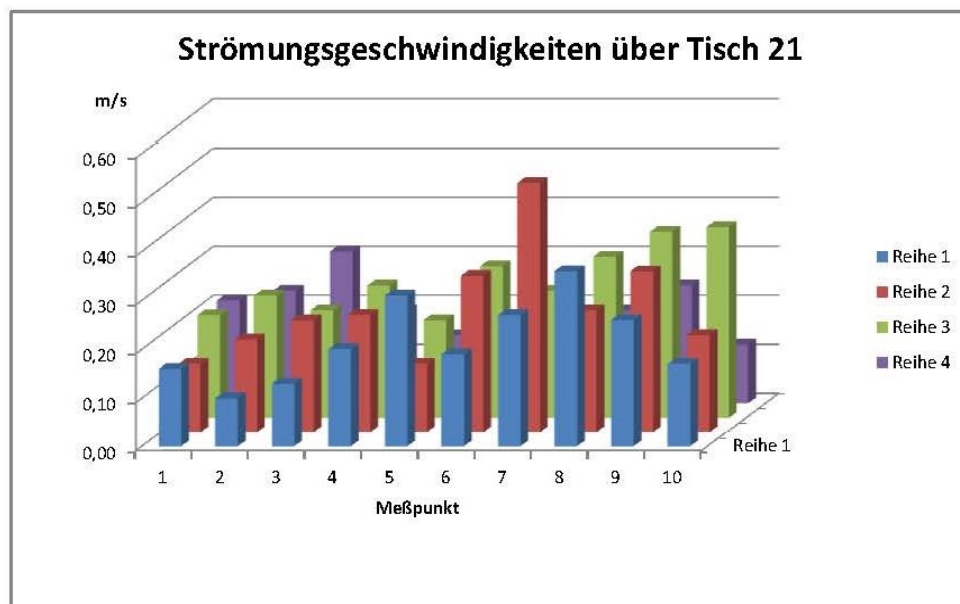


Abbildung 42: Strömungsgeschwindigkeiten über Tisch 21, Quelle: Hieke

Strömungsgeschwindigkeiten über Sektionstisch 22

Messraster: 20 cm / 20 cm, hier jeweils im Mittelpunkt des Quadrats

Messung der senkrechten Geschwindigkeitskomponente

richtungsabhängiger Fühler

Information: Leiche lag auf

Reihe 4	0,29	0,34	0,38	0,22	0,28	0,28	0,21	0,32	0,44	0,39 [m/s]
Reihe 3	0,15	0,15	0,44	0,39	0,37	0,35	0,40	0,34	0,42	0,48 [m/s]
Reihe 2	0,12	0,08	0,11	0,20	0,17	0,28	0,27	0,25	0,44	0,41 [m/s]
Reihe 1	0,09	0,10	0,09	0,08	0,13	0,17	0,15	0,11	0,19	0,24 [m/s]
Mittelwert	0,26 [m/s]			Vordruck Düsen:			26 [Pa]	29 [Pa]		29 [Pa]
	28 [Pa]									

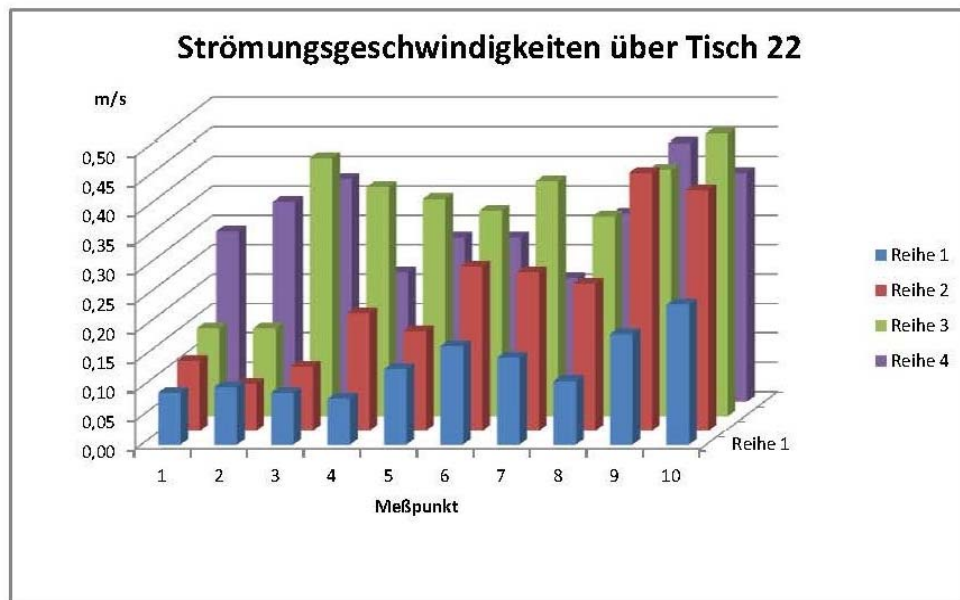


Abbildung 43: Strömungsgeschwindigkeiten über Tisch 22, Quelle: Hieke

Strömungsgeschwindigkeiten über Sektionstisch 23

Messraster: 20 cm / 20 cm, hier jeweils im Mittelpunkt des Quadrats

Messung der senkrechten Geschwindigkeitskomponente

richtungsabhängiger Fühler

Hinweis: Leiche lag während Messung auf

Reihe 4	0,24	0,15	0,18	0,32	0,26	0,34	0,30	0,19	0,30	0,32 [m/s]
Reihe 3	0,18	0,20	0,26	0,39	0,27	0,23	0,36	0,27	0,14	0,13 [m/s]
Reihe 2	0,14	0,10	0,10	0,24	0,23	0,24	0,26	0,17	0,17	0,38 [m/s]
Reihe 1	0,12	0,08	0,11	0,07	0,16	0,24	0,24	0,30	0,18	0,21 [m/s]
Mittelwert	0,22 [m/s]			Vordruck Düsen:			23 [Pa]	24 [Pa]	26 [Pa]	
	24 [Pa]									

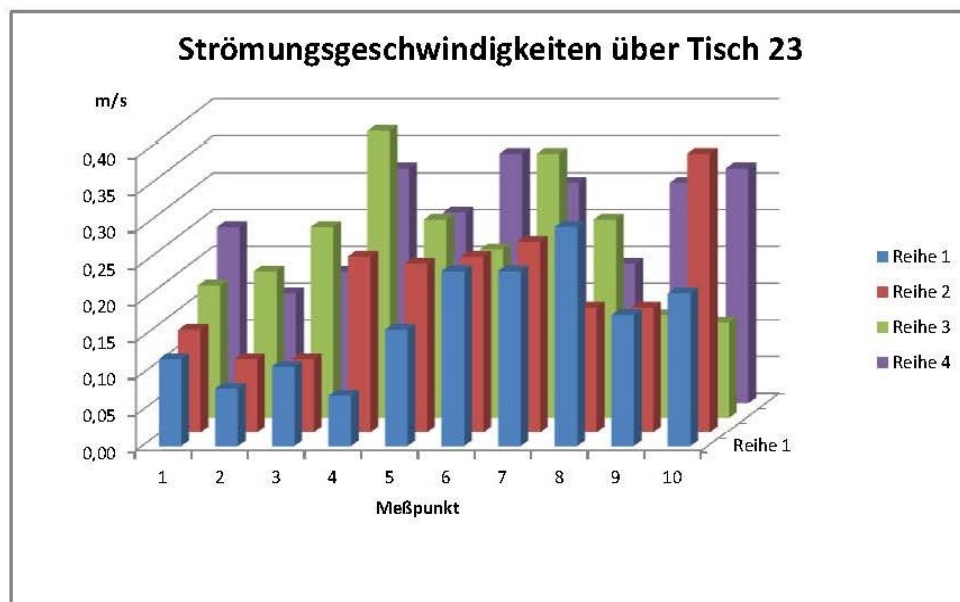


Abbildung 44: Strömungsgeschwindigkeiten über Tisch 23, Quelle: Hieke

Strömungsgeschwindigkeiten über Sektionstisch 24

Messraster: 20 cm / 20 cm, hier jeweils im Mittelpunkt des Quadrats

Messung der senkrechten Geschwindigkeitskomponente

richtungsabhängiger Fühler

Information: Leiche lag auf

Reihe 4	0,38	0,35	0,21	0,14	0,19	0,24	0,29	0,32	0,31	0,19 [m/s]
Reihe 3	0,13	0,17	0,22	0,28	0,23	0,32	0,30	0,29	0,27	0,36 [m/s]
Reihe 2	0,17	0,18	0,17	0,22	0,20	0,23	0,15	0,20	0,20	0,32 [m/s]
Reihe 1	0,16	0,20	0,19	0,16	0,18	0,32	0,24	0,22	0,25	0,27 [m/s]
Mittelwert	0,24 [m/s]									
	27 [Pa]									
Vordruck Düsen:						24 [Pa]	27 [Pa]	29 [Pa]		

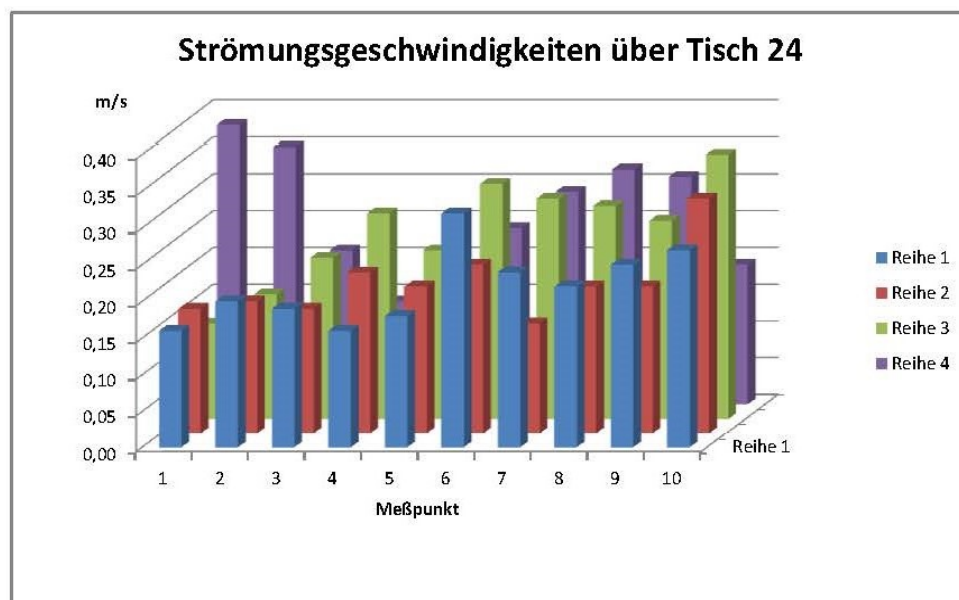


Abbildung 45: Strömungsgeschwindigkeiten über Tisch 24, Quelle: Hieke

Strömungsgeschwindigkeiten über Sektionstisch 25

Messraster: 20 cm / 20 cm, hier jeweils im Mittelpunkt des Quadrats

Messung der senkrechten Geschwindigkeitskomponente

richtungsabhängiger Fühler

Information: Leiche lag auf

Reihe 4	0,34	0,25	0,31	0,24	0,24	0,26	0,30	0,22	0,35	0,30 [m/s]
Reihe 3	0,21	0,39	0,34	0,29	0,24	0,30	0,35	0,39	0,28	0,30 [m/s]
Reihe 2	0,13	0,07	0,17	0,24	0,29	0,27	0,12	0,24	0,26	0,13 [m/s]
Reihe 1	0,10	0,11	0,10	0,08	0,10	0,09	0,09	0,08	0,10	0,10 [m/s]
Mittelwert	0,22 [m/s]									
	27 [Pa]									
Vordruck Düsen:						24 [Pa]	27 [Pa]	29 [Pa]		

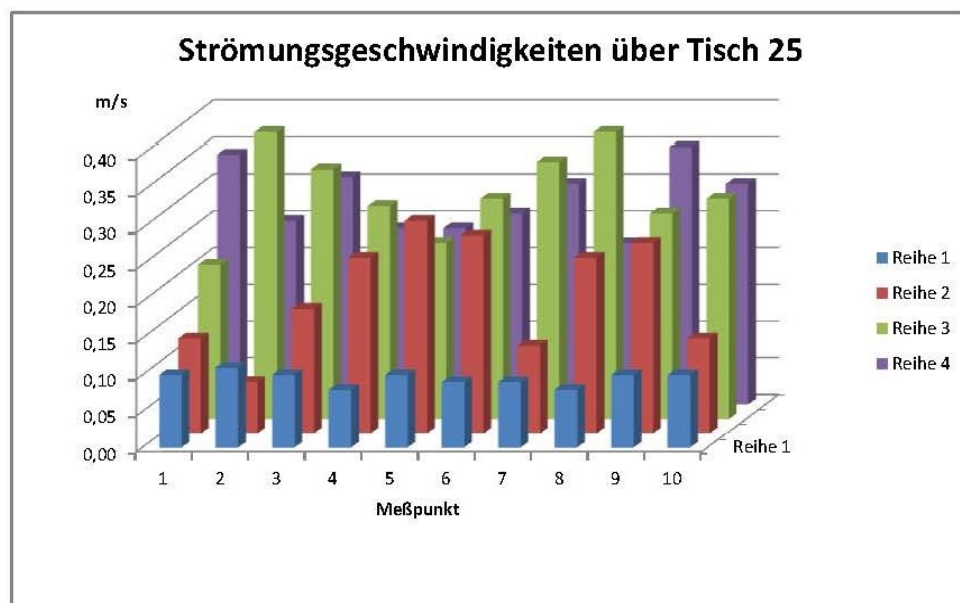


Abbildung 46: Strömungsgeschwindigkeiten über Tisch 25, Quelle: Hieke

Strömungsgeschwindigkeiten über Sektionstisch 26

Messraster: 20 cm / 20 cm, hier jeweils im Mittelpunkt des Quadrats
Messung der senkrechten Geschwindigkeitskomponente
richtungsabhängiger Fühler

Reihe 4	0,17	0,18	0,17	0,19	0,15	0,17	0,19	0,18	0,25	0,21 [m/s]
Reihe 3	0,11	0,10	0,18	0,33	0,20	0,22	0,29	0,28	0,35	0,21 [m/s]
Reihe 2	0,17	0,14	0,31	0,25	0,32	0,23	0,25	0,43	0,33	0,23 [m/s]
Reihe 1	0,08	0,12	0,13	0,19	0,19	0,17	0,30	0,35	0,22	0,21 [m/s]
Mittelwert	0,22 [m/s]			Vordruck Düsen:			26 [Pa]	24 [Pa]		26 [Pa]
	25 [Pa]									

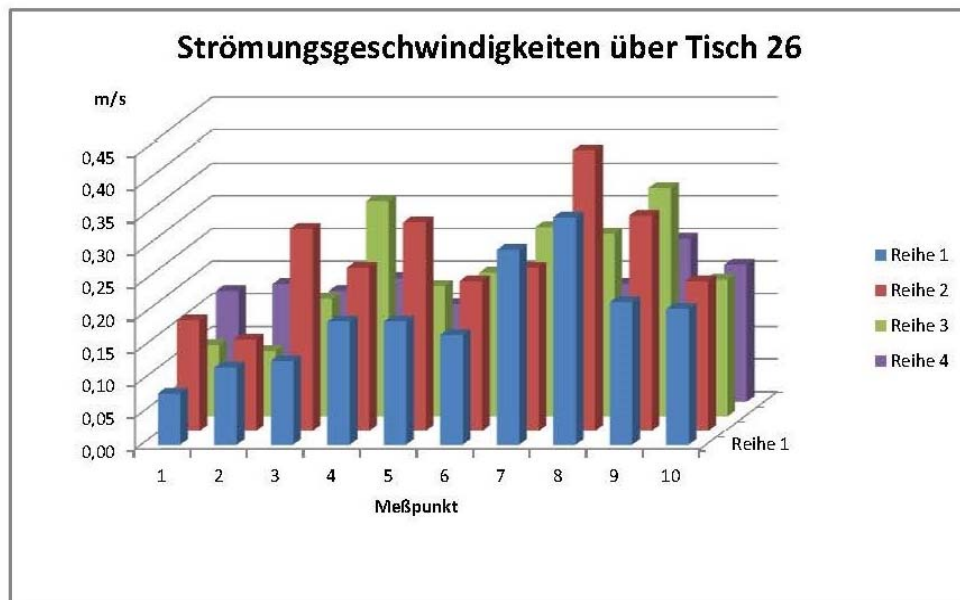


Abbildung 47: Strömungsgeschwindigkeiten über Tisch 26, Quelle: Hieke

Strömungsgeschwindigkeiten über Sektionstisch 27

Messraster: 20 cm / 20 cm, hier jeweils im Mittelpunkt des Quadrats

Messung der senkrechten Geschwindigkeitskomponente

richtungsabhängiger Fühler

Information: Leiche lag auf

Reihe 4	0,33	0,32	0,13	0,20	0,11	0,28	0,30	0,25	0,20	0,12 [m/s]
Reihe 3	0,27	0,19	0,27	0,27	0,38	0,31	0,18	0,30	0,25	0,24 [m/s]
Reihe 2	0,17	0,23	0,36	0,34	0,22	0,32	0,28	0,30	0,39	0,34 [m/s]
Reihe 1	0,21	0,17	0,13	0,10	0,12	0,13	0,12	0,17	0,19	0,12 [m/s]
Mittelwert	0,23 [m/s]									
	24 [Pa]									
				Vordruck Düsen:		24 [Pa]		23 [Pa]		25 [Pa]

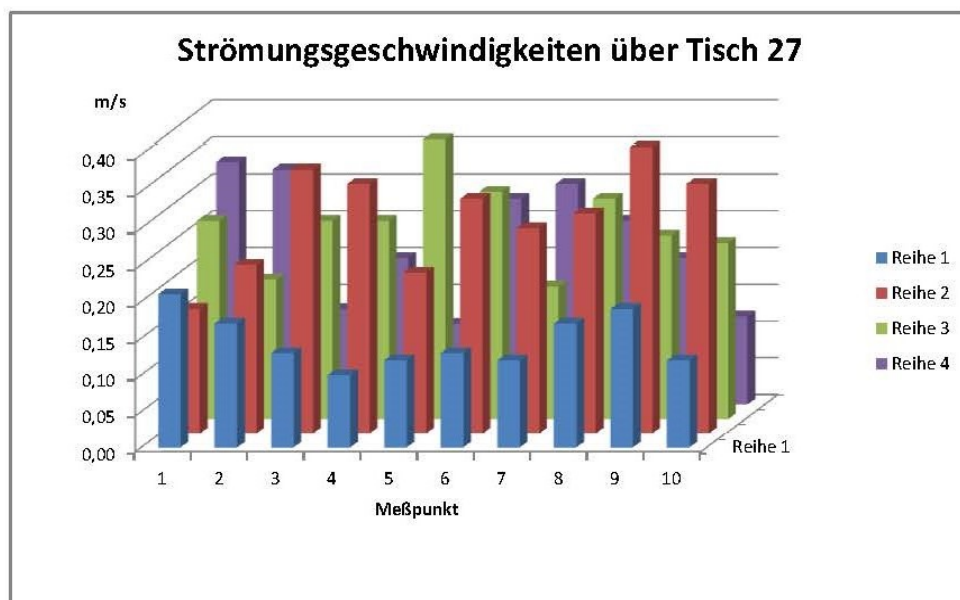


Abbildung 48: Strömungsgeschwindigkeiten über Tisch 27, Quelle: Hieke

Strömungsgeschwindigkeiten über Sektionstisch 28

Messraster: 20 cm / 20 cm, hier jeweils im Mittelpunkt des Quadrats

Messung der senkrechten Geschwindigkeitskomponente

richtungsabhängiger Fühler

Information: Leiche lag auf

Reihe 4	0,25	0,22	0,44	0,40	0,44	0,32	0,15	0,20	0,15	0,09 [m/s]
Reihe 3	0,41	0,38	0,30	0,40	0,26	0,11	0,18	0,36	0,25	0,12 [m/s]
Reihe 2	0,17	0,45	0,20	0,33	0,47	0,41	0,22	0,29	0,39	0,22 [m/s]
Reihe 1	0,13	0,23	0,16	0,12	0,29	0,29	0,18	0,15	0,35	0,39 [m/s]

Mittelwert	0,27 [m/s]	Vordruck Düsen:	23 [Pa]	26 [Pa]	28 [Pa]
	26 [Pa]				

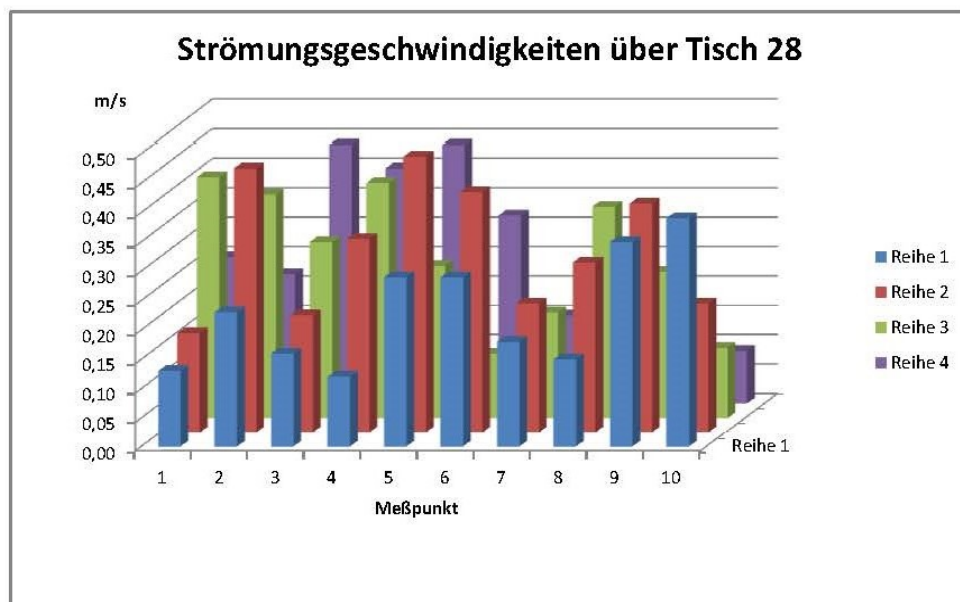


Abbildung 49: Strömungsgeschwindigkeiten über Tisch 28, Quelle: Hieke

Beispiel: Turbulenz über Sektionstisch 28**Messpunkt Mitte Tisch**

3 Minuten je Sekunde ein Meßwert = 180 Messwerte über Tischmitte

Messung der senkrechten Geschwindigkeitskomponente

richtungsabhängiger Fühler

Information: Leiche lag auf

Mittelwert	0,25 [m/s]
kleinster Wert	0,06 [m/s]
größter Wert	0,51 [m/s]
Standardabweichung	0,09 [m/s]
Turbulenzgrad	38 [%]

Mittelwert	0,25 [m/s]	Vordruck Düsen:	23 [Pa]	26 [Pa]	28 [Pa]
	26 [Pa]				

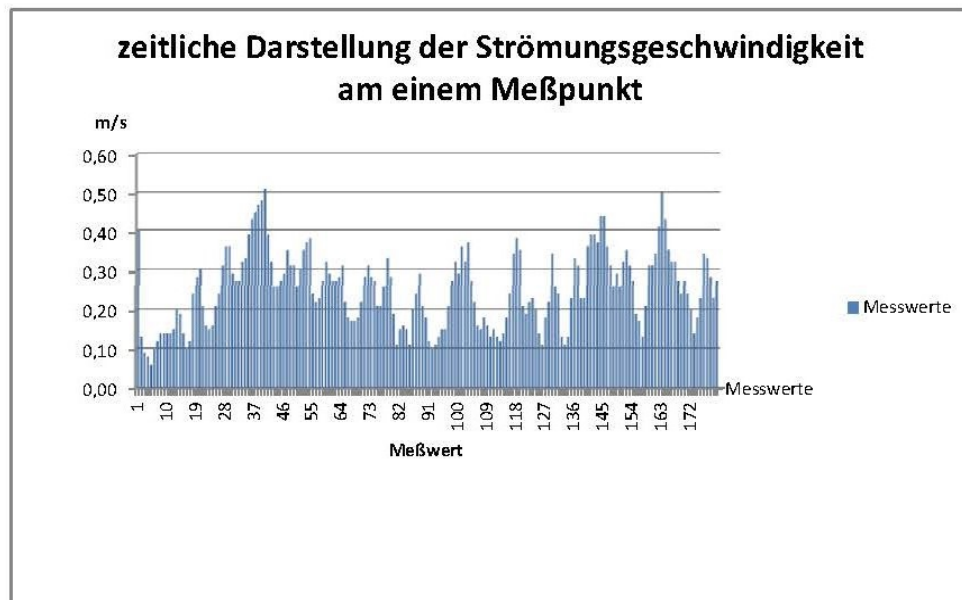


Abbildung 50: Turbulenz an einem Beispielmesspunkt, Quelle: Hieke

Übersicht Düsenvordrücke, Downflow Messung: 01.12.2017, 29.12.2017 Präpariersaal West						
	Vordruck Düse	Vordruck Düse	Vordruck Düse	Mittelwerte Vordruck Düsen	Downflow	Volumenstrom *
Tisch 1	23 [Pa]	24 [Pa]	28 [Pa]	25 [Pa]	0,27 [m/s]	1551 [m³/h]
Tisch 2	24 [Pa]	24 [Pa]	28 [Pa]	25 [Pa]	0,28 [m/s]	1597 [m³/h]
Tisch 3	24 [Pa]	24 [Pa]	26 [Pa]	25 [Pa]	0,23 [m/s]	1332 [m³/h]
Tisch 4	24 [Pa]	23 [Pa]	29 [Pa]	25 [Pa]	0,24 [m/s]	1375 [m³/h]
Tisch 5	23 [Pa]	26 [Pa]	29 [Pa]	26 [Pa]	0,22 [m/s]	1290 [m³/h]
Tisch 6	24 [Pa]	26 [Pa]	29 [Pa]	26 [Pa]	0,22 [m/s]	1246 [m³/h]
Tisch 7	23 [Pa]	24 [Pa]	26 [Pa]	24 [Pa]	0,24 [m/s]	1387 [m³/h]
Tisch 8	24 [Pa]	26 [Pa]	29 [Pa]	26 [Pa]	0,24 [m/s]	1390 [m³/h]
Tisch 9	25 [Pa]	26 [Pa]	29 [Pa]	27 [Pa]	0,24 [m/s]	1407 [m³/h]
Tisch 10	23 [Pa]	25 [Pa]	28 [Pa]	25 [Pa]	0,25 [m/s]	1443 [m³/h]
Tisch 11	24 [Pa]	25 [Pa]	27 [Pa]	25 [Pa]	0,29 [m/s]	1644 [m³/h]
Tisch 12	23 [Pa]	26 [Pa]	28 [Pa]	26 [Pa]	0,22 [m/s]	1277 [m³/h]
Präpariersaal Ost						
Tisch 17	23 [Pa]	22 [Pa]	28 [Pa]	24 [Pa]	0,28 [m/s]	1639 [m³/h]
Tisch 18	23 [Pa]	23 [Pa]	27 [Pa]	24 [Pa]	0,25 [m/s]	1437 [m³/h]
Tisch 19	25 [Pa]	26 [Pa]	28 [Pa]	26 [Pa]	0,22 [m/s]	1286 [m³/h]
Tisch 20	25 [Pa]	23 [Pa]	27 [Pa]	25 [Pa]	0,25 [m/s]	1454 [m³/h]
Tisch 21	19 [Pa]	23 [Pa]	25 [Pa]	22 [Pa]	0,24 [m/s]	1359 [m³/h]
Tisch 22	26 [Pa]	29 [Pa]	29 [Pa]	28 [Pa]	0,26 [m/s]	1486 [m³/h]
Tisch 23	23 [Pa]	24 [Pa]	26 [Pa]	24 [Pa]	0,22 [m/s]	1263 [m³/h]
Tisch 24	24 [Pa]	27 [Pa]	29 [Pa]	27 [Pa]	0,24 [m/s]	1356 [m³/h]
Tisch 25	24 [Pa]	27 [Pa]	29 [Pa]	27 [Pa]	0,22 [m/s]	1263 [m³/h]
Tisch 26	26 [Pa]	24 [Pa]	26 [Pa]	25 [Pa]	0,22 [m/s]	1260 [m³/h]
Tisch 27	24 [Pa]	23 [Pa]	25 [Pa]	24 [Pa]	0,23 [m/s]	1341 [m³/h]
Tisch 28	23 [Pa]	26 [Pa]	28 [Pa]	26 [Pa]	0,27 [m/s]	1565 [m³/h]
Mittelwerte	24 [Pa]	25 [Pa]	28 [Pa]	25 [Pa]	0,24 [m/s]	1402 [m³/h]

* Bezugsfläche 2 m * 0,8 m

Abbildung 51: Meßwertzusammenfassung und Mittelwerte

5.5 Einstufung und Gefahrenhinweise Formaldehyd

Zur Vervollständigung der Angaben zu Formaldehyd werden nachfolgend die aktuellen Einstufungen und Gefahrenhinweise aufgeführt. Hierbei sind die Graphischen Zeichen des Signalworts Gefahr in Abbildung 52, die Verbots- und Gebotszeichen in Abbildung 53 dargestellt.



Signalwort: "Gefahr"

Abbildung 52: Signalworte Gefahr (Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) (2018), S. 19)

Einstufung:

Akute Toxizität, Kategorie 3, Verschlucken; H301 Akute Toxizität, Kategorie 3, Einatmen; H331

Akute Toxizität, Kategorie 3, Hautkontakt; H311

Ätzwirkung auf die Haut, Kategorie 1B; H314

Sensibilisierung der Haut, Kategorie 1; H317

Keimzellmutagenität, Kategorie 2; H341

Karzinogenität, Kategorie 1B; H350

Spezifische Zielorgan-Toxizität (einmalige Exposition), Kategorie 1; H370 Spezifische Zielorgan-Toxizität (einmalige Exposition), Kategorie 3; H335

Gefahrenhinweise - H-Sätze:

H301+H311+H331: Giftig bei Verschlucken, bei Hautkontakt oder bei Einatmen. H314: Verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden. H317: Kann allergische Hautreaktionen verursachen.

H335: Kann die Atemwege reizen.

H341: Kann vermutlich genetische Defekte verursachen.

H350: Kann Krebs erzeugen.

H370: Schädigt die Organe.

Sicherheitshinweise - P-Sätze:

P201: Vor Gebrauch besondere Anweisungen einholen.

P280: Schutzhandschuhe/Schutzkleidung/Augenschutz/Gesichtsschutz tragen.

P303+P361+P353: BEI BERÜHRUNG MIT DER HAUT (oder dem Haar):

Alle kontaminierten Kleidungsstücke sofort ausziehen. Haut mit Wasser abwaschen oder duschen.

P304+P340+P310: BEI EINATMEN: Die Person an die frische Luft bringen und für ungehinderte Atmung sorgen.

Sofort GIFTINFORMATIONSZENTRUM oder Arzt anrufen.

P305+P351+P338: BEI KONTAKT MIT DEN AUGEN: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser spülen.

Eventuell vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter spülen.

P308+P310: BEI Exposition oder falls betroffen: Sofort GIFTINFORMATIONSZENTRUM oder Arzt anrufen.

GESTIS-Hinweis:

Die Einstufung gilt für wässrige Formaldehydlösungen, die mit mindestens 10 % Methanol stabilisiert sind. Bei Methanolkonzentrationen < 3 % entfällt H370. Bei Methanolkonzentrationen von 3 ... <10 % ist H371 statt H370 anzugeben.

GHS-EINSTUFUNG VON GEMISCHEN**Spezifische Konzentrationsgrenzen**

Hautätzend 1B; H314: C \geq 25 % Hautreizend 2;

H315: 5 % \leq C < 25 % Augenreizend 2;

H319: 5 % \leq C < 25 % STOT einm. 3;

H335: C \geq 5 % Sensibilisierung Haut 1;

H317: C \geq 0,2 %

(Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) (2018))

ARBEITSPLATZKENNZEICHNUNG NACH ASR A1.3**Verbotszeichen:**

Rauchen verboten



Zutritt für Unbefugte verboten



Essen und Trinken verboten

Warnzeichen:

Warnung vor giftigen Stoffen



Warnung vor ätzenden Stoffen

Gebotszeichen:

Augenschutz benutzen

Abbildung 53: ASR Kennzeichnung (Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) (2018), S. 21)

5.6 Veröffentlichungen:

32. Arbeitstagung der Anatomischen Gesellschaft am Institut für Anatomie und Zellbiologie der Universität Würzburg, hier Posterveröffentlichung als Erstautor:

Reduction of formaldehyde in the breathing air zone

It is possible to reduce pollution far below the PEL-limit !

Hans Hieke, Sonja Pfeil, Eveline Baumgart-Vogt, Monika Wimmer

Institute of Anatomy und Cell Biology, Justus-Liebig-University, Aulweg 123, 35392 Gießen

32. Arbeitstagung der Anatomischen Gesellschaft am Institut für Anatomie und Zellbiologie der Universität Würzburg, hier Posterveröffentlichung als Zweitautor:

Safe reduction of Formaldehyde vapors in the breathing air during dissection courses

Sonja Pfeil, Hans Hieke, Eveline Baumgart-Vogt, Monika Wimmer

Institute of Anatomy und Cell Biology, Justus-Liebig-University, Aulweg 123, 35392 Gießen

5.7 Danksagungen

Mein besonderer Dank gilt Frau Prof. Dr. Wimmer für die intensive Betreuung sowie Ihre unermüdliche Unterstützung und Motivation bei der Fertigstellung dieser Arbeit. Sie hatte jederzeit ein offenes Ohr für Fragen und Probleme. Sie unterstützte jederzeit bei der Organisation der Spenderkörper, Präparatevorbereitung, Messvorbereitung und Messdurchführung während der Praktika oder bei den vielen hierfür nötigen Sonderterminen und Besprechungen.

Ich habe, nicht nur wissenschaftlich, viel von Ihr lernen dürfen.

Weiterhin möchte ich mich bei beiden Präparatoren des Instituts bedanken. Trotz der Aufwände im Zusammenhang der Präparateerstellung und den vielen Messungen und Messterminen blieben sie meist gelassen und halfen mit Ihrem eigenen Humor über manche Klippe.

Zudem möchte ich mich bei der Geschäftsleitung des Institutes für die stetige Unterstützung des Projektes bedanken.

Auch möchte ich mich bei der Justus-Liebig-Universität, Dez. E bedanken. Hier wurde es mir durch flexible Arbeitszeiten ermöglicht, diese Ausarbeitung zu erstellen.

Eine Arbeit dieser Form erfordert ein gutes Zusammenarbeiten aller Beteiligten.

Ich bedanke mich herzlichst bei allen Lehrkräften des Instituts für Anatomie und Zellbiologie der Justus-Liebig-Universität in Gießen sowie den zahlreichen Studenten für die Akzeptanz und Unterstützung unserer Messungen während der Praktika sowie den vielen Sonderterminen. Auch danke ich Frau Pfeil für Ihre Ausdauer bei den manchmal endlos erscheinenden Formaldehydmessungen.

Ich danke meiner Familie für die immerwährende Unterstützung. Hier insbesondere das familiäre Freihalten von Zeiträumen welche für diese Arbeit nötig waren.

6 Literaturverzeichnis

Aircuity (2012): Lab Ventilation ACH Rates Standards and Guidelines. White Paper Series. White Paper Series (3 January 2012). Online verfügbar unter http://www.aircuity.com/wp-content/uploads/Aircuity-White-Paper_Lab-Ventilation-ACH-Rates_Standards-Guidelines_ACHWP_20120103-2.pdf, zuletzt geprüft am 14.01.2018.

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. (Hg.) (2007): Ashrae Handbook HVAC Applications. Chapter 14 Laboratories.

Arbeitskreis der Dozenten für Klimatechnik (Hg.) (1989): Berechnung und Regelung. Berechnung und Regelung. 3. Aufl. Karlsruhe: C.F. Müller (Handbuch der Klimatechnik, Band 2).

ARGUK Umweltlabor GmbH (2016): Formaldehydmessung vom 08.12.2016.

ARGUK Umweltlabor GmbH (2016): Messung vom 29.06. und 30.06.2016.

ARGUK Umweltlabor GmbH (2016): Messung vom 31.08.2016.

ARGUK Umweltlabor GmbH (2017): Messung vom 16.02.2017.

ARGUK Umweltlabor GmbH (2017): Messung vom 27.04.2017.

Assenmacher-Maiworm, Hahn, J.U. (2009): Aldehyde, IFA Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung, IFA-Arbeitsmappe AM 6045. Online verfügbar unter <https://www.ifa-arbeitsmappedigital.de/ce/aldehyde/detail.html>, zuletzt geprüft am 29.01.2018.

Azari, Mansour R.; Asadi, Parisa, Jafari, Mohammad Javad; Soori, Hamid; Hosseini, Vajihe (2012): Occupational Exposure of a Medical School Staff to Formaldehyde in Teheran. In: *Tanaffos* 11 (3), S. 36–41.

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (2011): TRGS 513 Tätigkeiten an Sterilisatoren mit Ethylenoxid und Formaldehyd. Ausgabe Oktober 2011. Ausschuß für Gefahrstoffe (AGS).

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (2013): TRGS 522 Raumdesinfektionen mit Formaldehyd. Ausgabe Januar 2013. Ausschuß für Gefahrstoffe (AGS).

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (2017a): TRGS 402 Ermitteln und Beurteilen der Gefährdungen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen: Inhalative Exposition. Ausgabe: Januar 2010 (Fassung 15.02.2017). Ausschuß für Gefahrstoffe (AGS), zuletzt geprüft am 28.02.2018.

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (2017b): Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (Gefahrstoffverordnung - GefStoffV), Ausgabe vom 26. November 2010, letztmalig geändert durch Artikel 148 des Gesetzes vom 29. März 2017 (Gefahrstoffverordnung), zuletzt geprüft am 01.03.2018.

Bundesverband Großhandel, Außenhandel, Dienstleistungen e.V. (BGA) (2014): Leitfaden Biozidverordnung. Gemeinsame Informationsbroschüre zur neuen Biozidverordnung. Stand April 2014. Umweltabteilung. Berlin, zuletzt geprüft am 18.02.2018.

California Conference of Directors of Environmental Health (2000): Mechanical Exhaust Ventilation Systems. Design, Calculations, and Operational Guidelines, zuletzt geprüft am 02.03.2018.

Demer, F. R. (2011): Engineering Controls to Reduce Formaldehyde Exposures. What works, what doesn't, and why? University of Arizona, Tucson, AZ 85721.

Demer, F. R. (2013): Formaldehyde Exposures in a Newly-Constructed Gross Anatomy Laboratory. The University of Arizona, Tucson, AZ.

Demer, F. R.; Notary, R. A.; Rosen, J. C. (1996): Effective Local Exhaust Ventilation for Controlling Formaldehyde Exposures in a Gross Anatomy Laboratory. Poster Presentation at the 1996 American Industrial Hygiene Conference & Exposition, Washington Convention Center, Washington, D.C. Departments of Risk Management & Safety and Facilities Design & Construction, The University of Arizona, Tucson, Arizona, 85721, zuletzt geprüft am 28.02.2018.

Deutscher Bundestag (1984): Formaldehyd. Ein gemeinsamer Bericht des Bundesgesundheitsamtes, der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und des Umweltbundesamtes unter der Beteiligung der Bundesanstalt für Materialprüfung, der Biologischen Bundesanstalt und des Vorsitzenden der Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der Deutschen Forschungsgemeinschaft. Deutscher Bundestag, 10. Wahlperiode. Bonn (Drucksache 10/2602). Online verfügbar unter <http://dipbt.bundestag.de/doc/btd/10/026/1002602.pdf>, zuletzt geprüft am 28.02.2018.

Eickmann, Udo (2016): Formaldehyd als krebserregend eingestuft. Praktische Auswirkungen am Beispiel des Gesundheitsdienstes. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV). Online verfügbar unter http://www.dguv.de/medien/landesverbande/de/veranstaltung/bk-tage/2016/documents/16_eickmann.pdf, zuletzt geprüft am 25.01.2018.

Giehning, Sebastian (1999): Aufbau und Einsatz eines Formaldehyd-Meßsystems zur kontinuierlichen Bestimmung von Immissionskonzentrationen. Universität Hamburg.

Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (2004): BGR 121 Arbeitsplatzlüftung - Lufttechnische Maßnahmen, Ausgabe Januar 2004. Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften, Fachausschuss "Einwirkungen und arbeitsbedingte Gesundheitsgefahren" der BGZ (121). Online verfügbar unter <http://publikationen.dguv.de/dguv/pdf/10002/bgr121.pdf>, zuletzt geprüft am 01.01.2018.

Hebisch, Ralf; Maschmeier Claus-Peter; Steinert Werner; Steinhäuser Klaus (2016): Formaldehyd - ein krebserregender Stoff mit Wirkschwelle. Hg. v. Der Vorstand der GDCh-Sektion 'Chemiker im öffentlichen Dienst'. Online verfügbar unter https://www.gdch.de/fileadmin/downloads/Netzwerk_und_Strukturen/Fachgruppen/OeffDie/2015_formaldehyd.pdf, zuletzt geprüft am 09.12.2017.

Humboldt, Alexander von (1845): Kosmos, Entwurf einer physischen Weltbeschreibung. Erster Band. Stuttgart und Augsburg: J. G. Cotta'scher Verlag.

DIN EN ISO 16000-1, 2006-06: Innenraumluftverunreinigungen - Teil 1: Allgemeine Aspekte der Probenahmestrategie (ISO 16000-1:2004); Deutsche Fassung.

DIN EN ISO 16000-2, 2006-06: Innenraumluftverunreinigungen - Teil 2: Probenahmestrategie für Formaldehyd (ISO 16000-2:2004); Deutsche Fassung.

Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) (2018): Gestis Stoffdatenbank. Formaldehyd. IFA Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung. Hg. v. GESTIS-Stoffdatenbank. Deutsche Gesetzliche

Unfallversicherung (DGUV). Online verfügbar unter http://gestis.itrust.de/nxt/gateway.dll/gestis_de/000000.xml?f=templates&fn=default.htm&vid=gestisdeu:sdbdeu, zuletzt geprüft am 28.02.2018.

Keil, C. B.; Akbar-Khanzadeh, F.; Konecny, K. A. (2001): Characterizing formaldehyde emission rates in a gross anatomy laboratory. In: *Applied occupational and environmental hygiene* 16 (10), S. 967–972.

Keune, Achim (2015): Innenraumlufthtqualität und Hygieneanforderungen an die Raumlufttechnik in Gebäuden. Kommentar zu VDI 6022. 2nd ed. Berlin, Wien, Zürich: Beuth (VDI Kommentar).

King, Cathleen; Labbie Paula; Klein, Robert (Hg.) (2002): Controlling Formaldehyde Emissions in an Academic Gross Anatomy Laboratory. A tale of cooperation and perseverance. AIHce 2002. Office of Environmental Health and Safety Yale University, New Haven, CT, USA.

Klein, Robert C.; King, Cathleen; Castagna, Paula (2014): Controlling formaldehyde exposures in an academic gross anatomy laboratory. In: *Journal of occupational and environmental hygiene* 11 (3), S. 127–132. DOI: 10.1080/15459624.2013.816432.

Kunugita, Naoki; Arashidani, Keiichi; Yamato, Hiroshi; Tanaka, Isamu; Nakashima, Tamiji; Kikuta, Akio (2005): EVALUATION OF FORMALDEHYDE EXPOSURE DURING A GROSS ANATOMY DISSECTION COURSE. Bericht. Scholl of Health Sciences, University of Occupational and Environmental Health (UOEH). Japan, zuletzt geprüft am 21.01.2018.

Laakso, Helmut (1976): Handbuch der technischen Gebäudeausrüstung. Düsseldorf: VDI-Verlag GmbH.

Ohmichi, Kimihide; Komiyama, Masatoshi; Matsuno, Yoshiharu; Takanashi, Yoshimitsu; Miyamoto, Hiroshi; Kadota, Tomoko et al. (2006): Formaldehyde exposure in a gross anatomy laboratory--personal exposure level is higher than indoor concentration. In: *Environmental science and pollution research international* 13 (2), S. 120–124.

Ohmichi, Kimihide; Matsuno, Yoshiharu; Miyaso, Hidenobu; Yamamoto, Hidekazu; Toriuchi, Masaharu; Shimane, Mitsugu; Mori, Chisato (2007): Pilot Study of a Dissection Table for Gross Anatomy Laboratory Equipped with a Photocatalytic Device that Decomposes Formaldehyde. In: *J Occup Health* 49 (6), S. 499–503. DOI: 10.1539/joh.49.499.

Patel, S. V. (2017): Ventilation in Anatomy Dissection Hall. Department of Anatomy, MK Shah Medical College & Research, Ahmedabad, Gujarat, India.

Paulsen, Friedrich (2015): Stellungnahme und Empfehlung der Arbeitsgruppe 'Formalin' zur Reduktion der Formaldehyd-Belastung im Präparierkurs. Hg. v. Anatomische Gesellschaft.

Pera, Franz; Filler, Timm J. (2012): 1 Gegenstand und Arbeitsgebiete der Anatomie. In: Anton Waldeyer, Friedrich Anderhuber, Franz Pera und Johannes Streicher (Hg.): Waldeyer - Anatomie des Menschen. Berlin, Boston: DE GRUYTER, S. 1–10.

VDI 6022 Blatt 1 (2018): Raumlufthtechnik, Raumlufthqualität - Hygieneanforderungen an raumlufthtechnische Anlagen und Geräte (VDI-Lüftungsregeln) Ausgabe Januar 2018.

Regierungspräsidium Kassel, Fachzentrum für Produktsicherheit und Gefahrstoffe (2017): Bericht Nr.: 13/2017. über die Ermittlung und Beurteilung der Konzentrationen

von Stoffen in der Luft in Arbeitsbereichen gemäß TRGS 402. Expositionsmessung zur Ermittlung und Beurteilung der Konzentration von Formaldehyd in der Anatomie. Gießen.

Schmid, Roy; Thornton, Sarah (2014): Improved ventilation to reduce formaldehyde exposure during wet anatomical classes. In: *JOURNAL OF HEALTH AND SAFETY, RESEARCH AND PRACTICE* 6 (2).

Sprenger, Eberhard; Albers, Karl-Josef; Recknagel, Hermann (Hg.) (2017): Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik. Einschließlich Trinkwasser- und Kältetechnik sowie Energiekonzepte. 78. Auflage, 2017/2018. München: DIV Deutscher Industrieverlag GmbH (Recknagel Edition).

Stockmann, Reinhard (2016): Gesamtkonzept zur Reduzierung der Formaldehydexposition im anatomischen Praktikum. DGUV Fachgespräch "Reduzierung der Formaldehydbelastung" 13. Oktober 2016. IFA Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung. Berlin, zuletzt geprüft am 01.01.2018.

Thullner, I.; Stockmann, L.; Hohenberger, L. (2015): Formaldehyd in der vorklinischen Ausbildung (Anatomie). Hg. v. Unfallkasse Hessen (Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft, 75 (2015) Nr.: 6 Juni).

Thullner, I. (2016) (2016a): Bericht über die Messung von Gefahrstoffen in der Luft in Arbeitsbereichen nach § 19 SGB VII. Betriebsteil Institut für Humananatomie, Aulweg 121, 35392 Gießen. Hg. v. Unfallkasse Hessen (2016 001 / 20.04.2016).

Thullner, Ingrid (2016b): Ergebnisse von Formaldehydmessungen - Verfahrenstechnische und organisatorische Optimierungsmöglichkeiten. Unter Mitarbeit von Rainer van Gelder und Ulrike Koch. Hg. v. Unfallkasse Hessen. Online verfügbar unter <http://www.dguv.de/ifa/veranstaltungen/fachgespraech-formaldehyd/index.jsp>, zuletzt geprüft am 01.01.2018.

Umweltbundesamt, Präsidialbereich, Presse- und Öffentlichkeitsarbeit, (2018): Was sind Biozid-Produkte? Biozid-Portal. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter <http://www.biozid.info/deutsch/biozidprodukte/>, zuletzt geprüft am 18.02.2018.

University of Colorado Denver, Anschutz Medical Campus (2016): Formaldehyde Safe Work Practices. ENVIRONMENTAL HEALTH & SAFETY, RESEARCH SAFETY AND INDUSTRIAL HYGIENE (84), zuletzt geprüft am 01.02.2018.

Vohra, Muhammad Saeed (2011): Personal formaldehyde exposure level in the gross anatomy dissecting room at College of Medicine King Saud University Riyadh. In: *International journal of occupational medicine and environmental health* 24 (1), S. 108–113. DOI: 10.2478/s13382-011-0004-4.

Winkler, Kyle Wiliam (2011): Formaldehyde exposures in a university anatomy laboratory. The University of Toledo, zuletzt geprüft am 03.03.2018.

Yamato, Hiroshi; Nakashima, Tamiji; Kikuta, Akio; Kunugita, Naoki; Arashidani, Keiichi; Nagafuchi, Yoshihiro; Tanaka, Isamu (2005): A Novel Local Ventilation System to Reduce the Levels of Formaldehyde Exposure during a Gross Anatomy Dissection Course and its Evaluation Using Real-Time Monitoring. In: *J Occup Health* 47 (5), S. 450–453. DOI: 10.1539/joh.47.450.

Eidesstattliche Erklärung

Erklärung zur Dissertation

„Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne unzulässige Hilfe oder Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nichtveröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der „Satzung der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten sowie ethische, datenschutzrechtliche und tierschutzrechtliche Grundsätze befolgt. Ich versichere, dass Dritte von mir weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen, oder habe diese nachstehend spezifiziert. Die vorgelegte Arbeit wurde weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde zum Zweck einer Promotion oder eines anderen Prüfungsverfahrens vorgelegt. Alles aus anderen Quellen und von anderen Personen übernommene Material, das in der Arbeit verwendet wurde oder auf das direkt Bezug genommen wird, wurde als solches kenntlich gemacht. Insbesondere wurden alle Personen genannt, die direkt und indirekt an der Entstehung der vorliegenden Arbeit beteiligt waren. Mit der Überprüfung meiner Arbeit durch eine Plagiatserkennungssoftware bzw. ein internetbasiertes Softwareprogramm erkläre ich mich einverstanden.“

Ort, Datum

Unterschrift